

TARTU ÜLIKOOL
Arvutiteaduse instituut
Informaatika õppekava

Elis Vingisar
Õhutamperatuuri ja haiglates teostatud
protseduuride seoste uurimine standardiseeritud
terviseandmetel
Bakalaureusetöö (9 EAP)

Juhendaja:
Neeme Ilves, MD

Kaasjuhendajad:
Maria Malk, MSc
Raivo Kolde, PhD

Tartu 2025

Õhutemperatuuri ja haiglates teostatud protseduuride seoste uurimine standardiseeritud terviseandmetel

Lühikokkuvõte:

Äärmuslikud temperatuurid kujutavad endast üha olulisemat terviseriski, kuid nende täpsemaid mõjusid haiglate reaalsele töökoormusele on vähe mõõdetud. Käesolev bakalaureusetöö rakendas Eestis OMOP CDM-il standardiseeritud terviseandmestikku, et uurida, kuidas päevane õhutemperatuur ja selle kuni kümnapäevane viitmõju seostuvad meditsiiniliste protseduuride sagedusega aastatel 2012–2019, ning ehitab sellele tuginedes interaktiivse Shiny rakenduse. Tulemuse saavutamiseks põimiti RITA MAITT projektist valitud haiglate protseduurikirjed ja lähimate ilmajaamade päevased temperatuurid ning kasutati Distributed Lag Non-Linear Model (DLNM) mudelit, mis lubab hinnata temperatuuri mõju ka mitme järgneva päeva jooksul. Valminud rakenduses saab kasutaja valida haigla ja protseduuri, määrata huvipakkuvad viitpäevad ning vaadata graafikult, kuidas suhteline risk muutub kogu temperatuurivahemikus. Lisaks saab kindla temperatuuri korral kuvada, millise kujuga on mõju järgnevate päevade löikes. Rakenduse teine vaade on soojuskaart, mis toob kiiresti välja, milliste haiglate ja protseduuride kombinatsioonide korral on valitud temperatuuril täheldatud statistiliselt olulist seost. Samuti viidi läbi näidisuuring valitud protseduuride ja haiglate kohta, et demonstreerida tööriista kasutusvõimalusi ning tuua esile selle võime kiiresti avastada temperatuuriga seotud mustreid.

Võtmesõnad: Terviseandmed, temperatuur, DLNM, mitte-lineaarsed mudelid, viitajaga mudelid, meditsiinilised protseduurid, R-pakett, OMOP CDM

CERCS: B110 Bioinformaatika, meditsiiniinformaatika, biomatemaatika, biomeetrika

Analysis of the relationship between air temperature and hospital procedures using standardized health data

Abstract:

Extreme temperatures are an increasing health risk, but their specific impact on hospital workloads has not been studied in detail. This bachelor's thesis analyzes how daily air temperature in Estonia, and its delayed effects up to ten days later, are related to the frequency of medical procedures during 2012–2019. The analysis uses health data standardized to the OMOP CDM format and daily temperature data from nearby weather stations. A Distributed Lag Non-Linear Model (DLNM) was applied to estimate how temperature affects the number of procedures over time. Based on this, an interactive Shiny application was developed. Users can select a hospital and procedure, set lag days, and see how the relative risk changes with temperature. They can also view how a specific temperature affects procedure frequency in the days that follow. The application also includes a heatmap that highlights statistically significant links between temperature and specific hospital–procedure combinations. A demonstration analysis is included to show how the tool works and how it helps identify temperature-related patterns.

Keywords: Health data, temperature, DLNM, non-linear models, distributed lag models, medical procedures, R package, OMOP CDM

CERCS: B110 Bioinformatics, medical informatics, biomathematics, biometrics

Sisukord

Sissejuhatus.....	5
1. Mõisted ja terminid.....	6
2. Taust.....	7
2.1 Temperatuur ja tervisemõjud.....	7
2.2 OMOP CDM.....	9
2.3 DLNM.....	11
3. Andmed.....	14
3.1 RITA MAITT.....	14
3.2 Õhutemperatuur.....	16
3.3 Tervise- ja temperatuuriandmete sidumine.....	17
3.4 Andmete kättesaadavus.....	18
4. Tööriista ülesehitus ja meetodika.....	19
4.1 Protseduuride valimine.....	19
4.2 Viitpäevade seadmine.....	19
4.3 DLNM mudeli rakendamine.....	20
4.4 Tulemuste visualiseerimine.....	21
5. Tulemused.....	22
5.1 Tööriist.....	22
5.2 Näidisuuring.....	28
Kokkuvõte.....	32
Viidatud kirjandus.....	33
Lisa 1. Näide DLNM analüüsi sisendtabelist ühe protseduuri korral.....	36
Lisa 2. Näide DLNM analüüsi sisendtabelist mitme protseduuri korral (soojuskaart).....	37
Lisa 3. Valitud protseduurid.....	38
Lisa 4. Litsents.....	39

Sissejuhatus

Kliimamuutused on kujunemas üheks olulisemaks globaalseks terviseriskiks, mõjutades otseselt ja kaudselt kõiki tervisealaseid tingimusi – alates puhtast õhust ja joogiveest kuni toidujulgeoleku ja tervishoiusüsteemide toimimiseni [1]. Eriti suur on kuumuse roll: Euroopa Keskkonnaameti andmetel on just kuumalained põhjustanud viimastel kümnenditel kõige rohkem kliimaga seotud surmajuhtumeid Euroopas, moodustades aastatel 1980–2023 kuni 95% kõigist ilmastikunähtustega seotud surmadest [2]. Kuumalainetega kaasneb ka märkimisväärne tervishoiusüsteemi koormus, näiteks Prantsusmaal registreeriti 2022. aasta suvel nende perioodide ajal kaks korda rohkem erakorralise meditsiini vastuvõtte ja kolm korda rohkem arstikonsultatsioone kui tavaperioodidel [3].

Samas on vähem uuritud, kuidas ekstreemsed temperatuurid mõjutavad haiglate igapäevast töökoormust konkreetsete meditsiiniliste protseduuride lõikes. Näiteks, kas ja kuidas muutub teatud uuringute või sekkumiste sagedus kuumalainete või külmaperioodide ajal. Selliste seoste usaldusväärseks hindamiseks on vaja struktureeritud ja võrdlusvõimelist terviseandmestikku ning paindlikke analüüsimeetodeid, mis arvestaksid nii temperatuuri viitmõju kui ka mittelineaarseid seoseid.

Käesoleva töö eesmärk on luua interaktiivne rakendus, mis võimaldab analüüsida õhutemperatuuri ja meditsiiniliste protseduuride sageduse vahelisi seoseid Eesti haiglates, tuginedes OMOP CDM formaadis terviseandmetele. Selleks ühendatakse standardiseeritud terviseandmestik päevaste temperatuurinäitajatega ning rakendatakse DLNM meetodikat, mis võimaldab hinnata temperatuuri mõju eri viitajaga päevadel. Valminud tööriist pakub kasutajale praktilist vahendit, mille abil saab uurida, kas ja millistes haiglates esineb valitud temperatuuri korral teatud protseduuride sageduses statistiliselt olulisi muutusi.

Töö koosneb viiest peatükist. Esimeses peatükis selgitatakse kasutatavaid mõisteid ja termineid. Teine peatükk annab ülevaate uurimistöö taustast, sealhulgas temperatuuriga seotud tervisemõjudest, OMOP CDM andmemudelitest ning DLNM meetodist. Kolmandas peatükis kirjeldatakse kasutatud andmeid, nende päritolu, kättesaadavust, eeltöötlust ja ühendamist. Neljandas peatükis tutvustatakse loodud tööriista ülesehitust, valitud protseduure, analüüsimeetodit ja tulemuste visualiseerimise viise. Viimasel peatükis esitatakse tööriista funktsionaalsus ja näidisuuring, mis demonstreerib selle praktilist rakendust. Lisades on leitavad DLNM analüüsi sisendtabelite näited, kasutatud protseduuride loetelu ning lõputöö lihtlitsents.

1. Mõisted ja terminid

Observational Medical Outcomes Partnership Common Data Model (OMOP CDM) – andmestiku standard, mis võimaldab erinevatest allikatest pärit terviseandmete ühtlustamist ja võrreldavat analüüsi. Kasutatakse OHDSI võrgustikus.

Distributed Lag Non-Linear Model (DLNM) – statistiline mudel, mis võimaldab uurida, kuidas mingi tegur mõjutab tulemust ajas edasi lükkunult ja mittelineaarselt. Mudel võtab arvesse nii teguri väärtuste kui ka nende viitaja mõju.

Suhteline risk (ingl *relative risk*, RR) – näitab, kui palju sagedamini või harvemini esineb mingi sündmus, näiteks meditsiiniline protseduur, kindlal temperatuuril võrreldes valitud võrdlustemperatuuriga. Näiteks kui $RR = 1,2$ temperatuuril $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, tähendab see, et sellel temperatuuril esineb protseduur 20% sagedamini kui võrdlustemperatuuri puhul.

Viitaeg (ingl *lag*) – ajavahemik teguri toimumise ja mõju avaldumise vahel.

Splain (ingl *spline*) – matemaatiline funktsioon, mida kasutatakse andmete interpoleerimiseks ja mittelineaarsete mustrite kirjeldamiseks.

Usaldusvahemik (ingl *confidence interval*) – statistiline hinnang, mis näitab, millises vahemikus võib tegelik väärtus suure tõenäosusega paikneda. Käesolevas töös tähistab 95% usaldusvahemik, et on 95% tõenäosus, et tegelik suhteline risk (RR) jääb antud vahemikku. Kui usaldusvahemik ei sisalda väärtust 1, loetakse seos statistiliselt oluliseks – st temperatuuril on mõju vaadeldud protseduuri sagedusele.

2. Taust

Selles peatükis antakse ülevaade teoreetilisest raamistikust, mis toetab töö eesmärki analüüsida temperatuurimuutuste mõju meditsiiniliste protseduuride sagedustele haiglates. Käsitletakse varasemaid teadusuuringuid, mis on analüüsinud temperatuuri seoseid tervisega. Lisaks tutvustatakse analüüsimeetodina kasutatavat Distributed Lag Non-Linear Model (DLNM) mudelit ning andmestruktuuri OMOP Common Data Model (OMOP CDM), mis võimaldab terviseandmete standardiseeritud kasutamist. See teoreetiline ülevaade loob aluse töö praktilisele osale, kus on käsitletud andmete eeltöötlust, analüüsiprotsessi ja tulemuste esitlust interaktiivses rakenduses.

2.1 Temperatuur ja tervisemõjud

Kliimamuutuse, mis aina rohkem intensivistub, üheks otseseks tagajärjeks on globaalne soojenemine ning piirkondlikud ebatavalised temperatuuri kõikumised [4]. Hartinger jt [5] koostatud uurimistöö kinnitab, et kuumalainete sagenemine, keskmise suve õhutemperatuuri tõus ning pikenenud kuumaperioodid suurendab inimeste kokkupuudet kõrgete temperatuuridega oluliselt, mis omakorda on märkimisväärse mõjuga ka tervisele. Allikas on toodud välja, et Ladina-Ameerikas oli aastatel 2013–2022 imikute kokkupuude kuumalaine päevadega ligikaudu 2,5 korda suurem ning üle 65-aastaste kokkupuude umbes 2,7 korda suurem võrreldes aastatega 1986–2005. Selline kasv näitab, et kliimamuutusega seotud terviseriskid võivad selgelt mõjutada ka ühiskonna haavatavamaid gruppe.

Konkreetseid seoseid kõrgete temperatuuride ja tervisemõjude vahel on näidatud ka Euroopa linnades. Ascaso jt [6] tehtud uuring Madridis tõi esile, et kõrgenenud temperatuurid, eriti suvekuudel, on tugevas seoses bakteriaalsete toidutekkeliste haiguste, nagu salmonelloos ja kampülobakterioos, tõttu toimuvate erakorraliste hospitaliseerimistega. Analüüs näitas, et maksimaalse päevase temperatuuri tõus juba üle 12 °C tõi kaasa hospitaliseerimiste kasvu – iga lisanduv kraad suurendas sellega seotud riski 3,6% võrra. Mõju oli veelgi ulatuslikum kuumalainete ajal, kus temperatuur ületas 34 °C: sellistel juhtudel kasvas haiglaravi risk iga lisanduva kraadi võrra 12,2%. Lisaks ilmnes uuringus, et temperatuuride mõju ei pruugi avalduda koheselt – enim hospitaliseerimisi esines 3., 7. ja 13. päeval pärast kuumalainet.

Sohail jt [7] läbi viidud uuring Helsingi piirkonnas näitas, et päevane keskmine suvetemperatuur ei olnud üldiselt oluliselt seostatav südame- ja veresoonehaiguste ega hingamisteede hospitaliseerimiste sagenemisega. Autorid siiski märkisid, et kuumalainete ajal

– st mitmepäevaste kõrge keskmise päevase temperatuuriga perioodide jooksul – täheldati sagenenud hospitaliseerimisi hingamisteede haiguste tõttu, eriti 75-aastaste ja vanemate inimeste seas. Eriti ilmnes see kopsupõletike puhul, mille korral kasvas analüüsi järgi haiglaravi vajadus kuumalainete päevadel ligikaudu 20%.

Peale kuumalainete võivad tugevat mõju avaldada ka erakordselt madalad temperatuurid. Kataloonias tehtud Ponjoan jt [8] uurimusest selgus, et äärmuslikud külmaperioodid – uuringus defineeritud kui vähemalt kolmel järjestikusel päeval esinenud miinimumtemperatuurid, mis jäid alla 5. protsentiili (keskmiselt $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) – suurendasid märkimisväärselt erakorraliste hospitaliseerimiste arvu südame- ja veresoonkonnahaiguste tõttu. Allikas on toodud välja, et külmalaine ajal kasvas hospitaliseerimise risk 20% võrra, kuid mõju oli veelgi tugevam, kui arvesse võtta 7-päevast viitaega pärast külmaperioodi lõppu – sellisel juhul suurenes risk 29%. Kõige enam täheldati uuringus mõju insuldi ja südamepuudulikkuse hospitaliseerimistele, kuid mitte koronaarhaigustele. Kostopoulou [9] uuring 2017. aasta jaanuari külmalaine kohta Kreekas näitas selgelt, et madalad temperatuurid on seotud kardiovaskulaarse suremuse suurenemisega, eriti eakate seas. Näiteks ilmnes, et Thessalonikis kasvas üle 80-aastaste inimeste surmade arv 27% võrreldes sama kuu keskmisega aastatel 2013–2018.

Smid jt [10] analüüs näitas, et kuumalainete sagenemine ei ohusta enam ainult Lõuna-Euroopa linnasid, vaid tugevad mõjud on oodatavad ka Põhja- ja Kesk-Euroopa linnades, sealhulgas Tallinnas ja Stockholmis. Uuringust selgus, et aastateks 2071–2100 on eriti intensiivsete kuumalainete – s.t äärmuslike kuumaperioodide, mille tugevus ületab indeksväärtuse¹ 9 – esinemise tõenäosus väga kõrge paljudes Euroopa pealinnades, ulatudes näiteks Viinis, Zagrebis ja Ateenas üle 75%. Lisaks leiti, et külmalainete sagedus väheneb tulevikus märgatavalt, kuid kuumalainetest tingitud terviseriskid muutuvad olulisemaks isegi seni jaheda kliimaga piirkondades.

Eesti kontekstis on viimastel aastatel tehtud mitmeid uuringuid, mis kinnitavad temperatuuri mõju tervisele ka siinsetes oludes. Oudin Åström jt [12] uuringust selgus, et aastatel 1997–2013, kui maksimaalne temperatuur ületas 75. protsentiili ($\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$), kasvas üle 75-aastaste suremuse risk sisemaa piirkondades kuni 45%, kusjuures mõju ilmnes koheselt ja kestis paar päeva. Vicedo-Cabrera jt [13] rahvusvaheline analüüs lisas, et ligikaudu 37% Eesti suvistest

¹ Indeks põhineb Russo jt [11] poolt välja töötatud kuumalaine tugevuse indeksil (Heat Wave Magnitude Index, HWMI), mis võtab arvesse nii kestust kui ka intensiivsust.

kuumusega seotud surmadest aastatel 1991–2018 on seostatavad inimtekkelise kliimamuutusega.

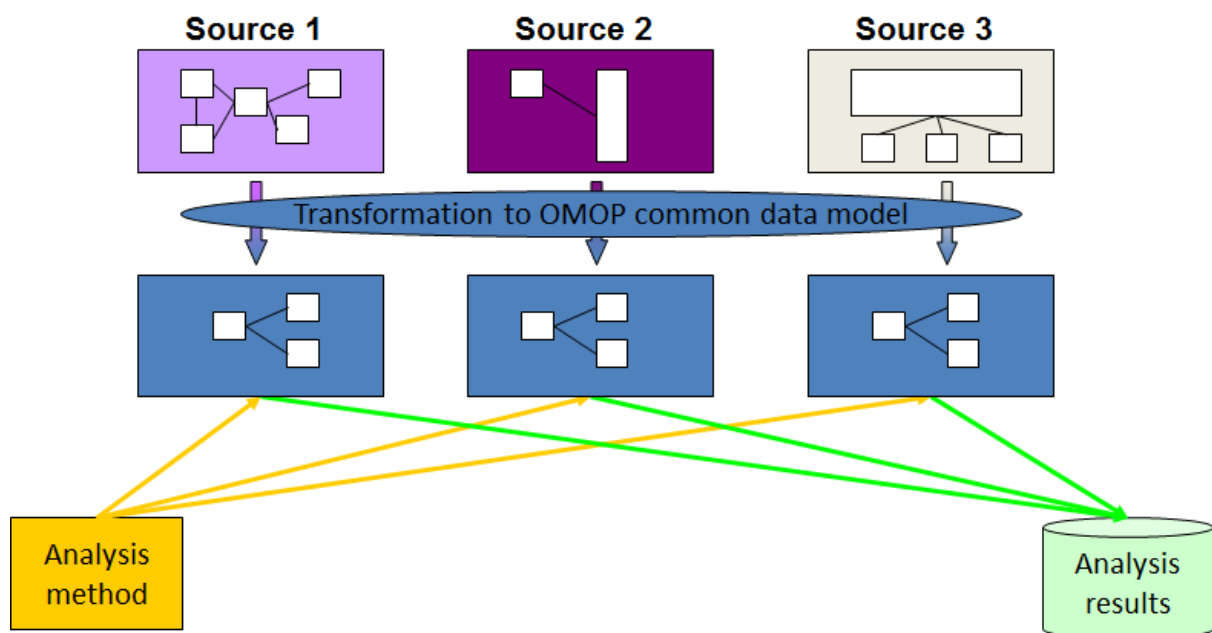
Nii eelmainitud uuringud Eesti kohta kui ka rahvusvahelised leiud kinnitavad, et temperatuurimuutustel on oluline roll tervisenäitajate mõjutamisel. Samas on seni vähem uuritud, kuidas need muutused mõjutavad konkreetsete meditsiiniliste protseduuride sagedust Eesti haiglates – millised protseduurid on kõige tundlikumad, millal mõju avaldub ning millistes haiglates või piirkondades see kõige selgemini esile tuleb. Protseduurid on seejuures keskse tähtsusega, kuna haigestumise või ägeda seisundi tekkimisel eelnevad need sageli diagnoosile või sellele järgnevale ravile. Näiteks on mitmed esmased sekkumised – nagu elektrokardiogramm (EKG), rindkere röntgen või kompuutertomograafia (KT) – vajalikud juba esmaste kahtluste kinnitamiseks või välistamiseks. Kõik protseduurid ei ole aga võrdselt paindlikud: kiirelt teostatavaid sekkumisi saab vajadusel sagedamini rakendada, samas kui näiteks KT-uuringute või kirurgiliste protseduuride mahu suurendamine eeldab ressursside, personali ja aparatuuri olemasolu. Seetõttu on oluline mõista, millised protseduurid on temperatuuritundlikud ning millal ja kus see mõju realiseerub, et võimaldada paremat haiglate töökorraldust ja planeerimist. Käesolev töö pakub sellele küsimusele uudse lahenduse, luues paindliku ja laiendatava analüüsivahendi, mis kasutab OMOP CDM standardiseeritud andmestikku (vt 2.2 OMOP CDM), et võimaldada detailset ja kohandatavat analüüsi temperatuuriga seotud muutustest haiglatasandil.

2.2 OMOP CDM

Järgnev jaotis tutvustab kõigepealt rahvusvahelist Observational Health Data Sciences and Informatics (OHDSI) koostöövõrgustikku ning seejärel selle ühe peamise tulemuse – Observational Medical Outcomes Partnership Common Data Model (OMOP CDM) – rolli terviseandmete ühtlustamisel ja usaldusväärset analüüsil.

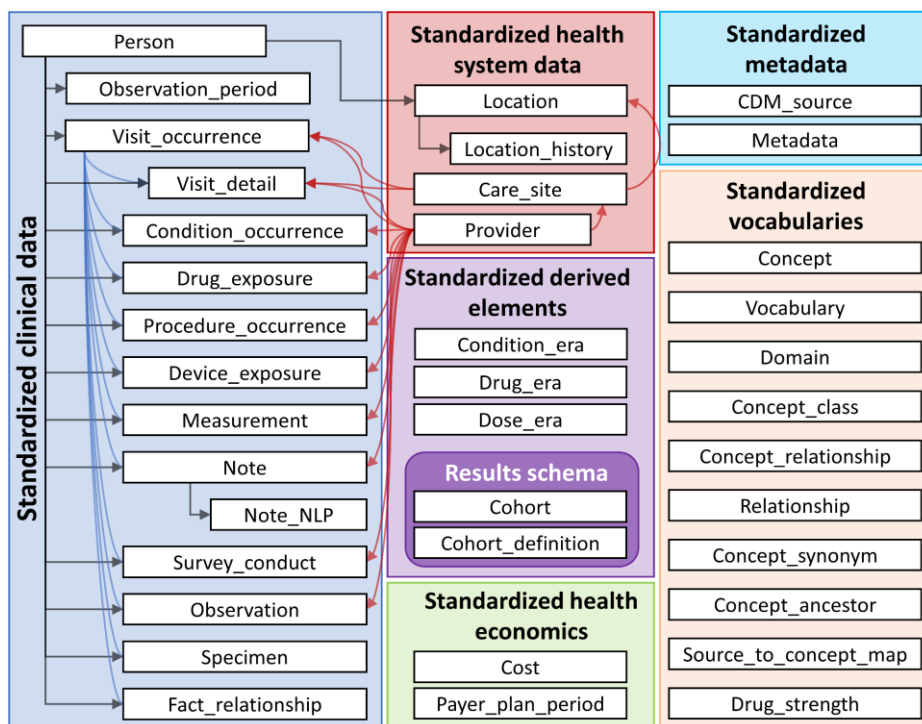
OHDSI ühendab teadlasi, arste, andmeeksperte ja teisi huvirühmasid üle maailma, et arendada meetodeid ja tööriistu suurte terviseandmekogumite analüüsiks ning sellest saadava teadmiste rakendamiseks kliinilistes otsustes [14]. Koostöövõrgustik hõlmab enam kui 4200 partnerit 83 eri riigist ning koondab ligi 810 miljoni patsiendi terviseandmed [15]. Nende lähenemine rõhutab avatust ja koostööd, mis on eelduseks nii kiireks meetodikate arenduseks kui ka tarkvara jagamiseks laiemale kasutajaskonnale.

OHDSI algatusena töötati välja OMOP CDM, mis on rahvusvaheline andmestandard ning selle eesmärk on viia eri allikatest – näiteks haiguslugudest, kindlustusandmetest või registritest – pärinevad terviseandmed ühtsele kujule, et võimaldada nende usaldusväärset ja süsteemset analüüsi [16]. Samuti on välja toodud, et kuna terviseandmete salvestamise viisid ja sisuline struktuur erinevad sageli asutuste ja riikide lõikes, tekib probleem andmete võrreldavusega. OHDSI ametliku ülevaate põhjal lahendab selle OMOP CDM, pakkudes kindlat tabelistruktuuri ja ühtset sõnastikupõhist lähenemist, mis lihtsustab andmete omavahelist kombineerimist. Joonis 1 illustreerib andmete ühtlustamise üldpõhimõtet: sõltumata algandmete struktuurist, teisendatakse need esmalt OMOP-i ühisele andmemudelile vastavaks, misjärel on võimalik rakendada standardiseeritud analüüsimeetodeid ja saada võrreldavaid tulemusi kõikidest andmeallikatest.



Joonis 1. Andmeallikate ühtlustamise töövoog OMOP ühise andmemudeli abil [16].

Selleks, et anda selge visuaalne ülevaade OMOP CDM-i ülesehitusest ja komponentide omavahelistest seostest, on joonisel 2 esitatud mudeli põhitabelite struktuur ning nendevahelised ühendused.



Joonis 2. OMOP CDM-i peamised tabelid ja nende omavahelised seosed [17].

Mudeli keskmes paikneb tabel `person`, mis seob ülejäänud kliinilised andmed konkreetsete isikutega, võimaldades andmeid analüüsida individuaalsel tasandil. Käesolevas töös keskenduti nendele tabelitele, mis võimaldavad analüüsida meditsiiniliste protseduuride sagedust ja selle seoseid õhutemperatuuriga. Täpsemalt on kasutatud tabelid välja toodud peatükis 3.1 RITA MAITT.

2.3 DLNM

Järgnevas alapeatükis antakse ülevaade Distributed Lag Non-Linear Model (DLNM) mudelist, toetudes kahele allikale: Gasparrini jt [18] artiklile, mis kirjeldab DLNM-i üldist kontseptuaalset ja matemaatilist raamistikku, ning Gasparrini [19] kirjatööle, mis tutvustab DLNM R-paketi praktilist rakendamist.

Tavapärased lineaarmudelid eeldavad sageli, et ennustatava teguri mõju on tulemusele kohene ja lineaarselt konstantne kogu väärtuste ulatuses. Selline lihtsustus ei sobi olukordadesse, kus mõju ilmneb viitajaga (ingl *lag*) või kus seos on mittelineaarne, nagu on sageli keskkonnategurite – näiteks temperatuuri või õhusaaste – korral. Need tegurid võivad avaldada mõju alles mitme päeva pärast ning mõju tugevus võib märgatavalt erineda sõltuvalt teguri tasemest. Selliste keerukate seoste analüüsimiseks on välja töötatud DLNM, mis ühendab kahte olulist aspekti: ajaliselt edasi lükkunud mõju ja mittelineaarsust. Tegemist on Distributed Lag

Model (DLM) laiendusega, mis traditsiooniliselt arvestab aja jooksul hajutatud mõju, kuid eeldab lineaarsust.

DLNM-i keskne element on nn ristbaasi (ingl *cross-basis*) funktsioon – kahemõõtmeline struktuur, mis võimaldab samaaegselt arvestada ühe teguri (näiteks temperatuuri) erinevaid tasemeid ning nende mõju viivitust. See tähendab, et mõju ei hinnata ainult temperatuuri konkreetse väärtuse põhjal, vaid ka selle põhjal, kui kaua aega on möödunud selle temperatuuri esinemisest. Nii on võimalik eristada olukordi, kus näiteks madal temperatuur põhjustab pikaajalise, kuid mööduka mõju, ja olukordi, kus kõrge temperatuur avaldab kiire ja tugeva toime. Seda kahe muutuja – temperatuuri ja viitaja – koosmõju saab kirjeldada järgmise matemaatilise kujuga:

$$s(x_t; \boldsymbol{\eta}) = \sum_{j=1}^{v_x} \sum_{k=1}^{v_l} \mathbf{r}_{tj}^T \cdot \mathbf{c}_{\cdot k} \eta_{jk} = \mathbf{w}_t^T \boldsymbol{\eta},$$

kus:

- x_t tähistab uuritava keskkonnateguri (nt õhutemperatuur) väärtust ajahetkel t .
- $s(x_t; \boldsymbol{\eta})$ on mittelineaarne funktsioon, mis väljendab, kuidas x_t ja selle varasemad väärtused (viivitusega) mõjutavad vaadeldavat näitajat (nt suremus, protseduurid vms).

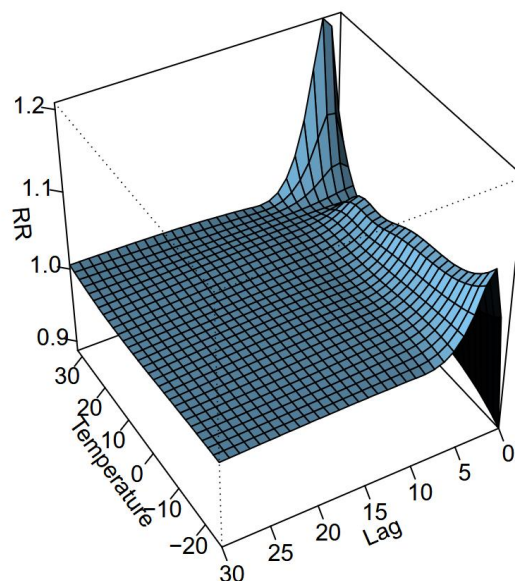
Oletame, et praeguses kontekstis on uuritav keskkonnategur õhutemperatuur. Seega valemis kasutatud tähised:

- v_x – kasutatud baasfunktsioonide arv temperatuurivahemiku kirjeldamiseks; tavaliselt määratakse splineide või polünoomide alusel;
- v_l – baasfunktsioonide arv viitaja teljel;
- \mathbf{r}_{tj}^T – t -hetke kohta arvatud j -nda temperatuuritunnuse baasfunktsiooni väärtuste vektor kogu viitaja-perioodi jooksul;
- $\mathbf{c}_{\cdot k}$ – k -nda viitaja baasfunktsiooni väärtuste vektor kogu viitajatelje ulatuses;
- η_{jk} – regressioonikoefitsient, mis näitab vastavat mõju konkreetse temperatuuri taseme ja viitaja kombinatsiooni korral;
- \mathbf{w}_t^T – ristbaasi funktsioonide väärtuste vektor ajahetkel t , saadud temperatuuride ja viitaegade baasfunktsioonide kombinatsioonina;
- $\boldsymbol{\eta}$ – koefitsientide vektor, mille väärtused hinnatakse mudeli sobitamise käigus.

DLNM-i rakendamiseks R-is on olemas spetsiaalne pakett *dlm*, mis sisaldab kolme peamist funktsiooni: `crossbasis()`, `crosspred()` ja `plot()`. Funktsioon `crossbasis()`

loob ristbaasi objekti, ühendades muutujate väärtused ja nende viitajad ühte maatriksisse. Funktsioon `crosspred()` võimaldab prognoosida mõju erinevates temperatuuride ja viitpäevade kombinatsioonides ning arvutada ka usaldusvahemikud. Tulemuste visualiseerimiseks pakub `plot()` mitmekesiseid võimalusi, sealhulgas 3D-pinnagraafikuid ja kontuurjooni, mis aitavad tõlgendada tulemuste ajas ja temperatuuriskaalal avalduvat dünaamikat. DLNM-i tulemused kujutatakse sageli kolmemõõtmelise pinnagraafikuna, millel on selgelt näha, kuidas ühe keskkonnateguri – näiteks temperatuuri – mõju avaldub ajas edasi lükkunult ning kui suurt mõju see põhjustab. Selline graafik aitab esile tuua, milliste temperatuuritasemete ja viitpäevade kombinatsioonidega kaasneb kõrgem või madalam suhteline risk (RR). Joonisel 3 on esitatud üks näide DLNM-i abil loodud 3D-graafikust, kus x-teljel on temperatuur, y-teljel viitpäevade arv ning z-teljel suhteline risk.

3D graph



Joonis 3. DLNM-i tulemusena saadud kolmemõõtmeline graafik [19].

Sellest kolmemõõtmelisest pinnagraafikust saab eraldada erinevaid kahemõõtmelisi lõike, näiteks kindla viitpäeva või temperatuuritaseme järgi, võimaldades süvitsi analüüsida seoste kujunemist aja ja keskkonnatingimuste lõikes. Just nende lõigete alusel on võimalik hinnata, millised olukorrad kujutavad endast statistiliselt olulist riski. Järgmisena kirjeldatakse kasutatud andmeid ja nende ettevalmistust.

3. Andmed

Peatükis antakse põhjalik ülevaade andmestikest, mille abil analüüsiti seoseid õhutemperatuuri ja haiglates teostatud meditsiiniliste protseduuride sageduse vahel. Töös on kasutatud peamiselt kahte andmeallikat: RITA MAITT projekti raames loodud standardiseeritud terviseandmestikku ning päevaseid temperatuurinäitajaid, mis on pärit Eesti Keskkonnaagentuuri ajalooliste ilmaandmete andmebaasist². Lisaks kirjeldatakse andmete eeltöötlust ja ühendamist, mis on olulised eeltingimused DLNM mudeli rakendamiseks, ning selgitatakse andmete kättesaadavust.

3.1 RITA MAITT

Järgnevas lõigus esitatud teave põhineb Eesti Teadusagentuuri programmi RITA raames elluviidud projekti „Masinõppe ja AI toega teenused“ lõpparuandel [20].

RITA MAITT andmestik loodi eesmärgiga arendada ulatuslik ja kvaliteetne terviseandmete kogum, mis võimaldaks rakendada masinõppe ja tehisintellekti meetodeid uute avalike teenuste arendamiseks, sealhulgas terviseuuringutes. Andmestikku on kaasatud ligikaudu 10% Eesti elanikest ning sisaldab nende terviseandmeid ajavahemikust 2012–2019. Kokku kuulub andmestikku 150 811 isikut ning enam kui 20 miljonit terviseandmete kirjet. Andmed on koondatud kolmest olulisest Eesti riiklikust terviseandmekogust: retseptikeskusest (väljakirjutatud ravimid), Eesti Haigekassa andmekogust (raviarved) ja Tervise Infosüsteemist (terviselugude kokkuvõtted ja laborianalüüsides tulemused). Kõik algandmed pseudonüümiti enne uurimismeeskonnale edastamist, nii et teadlasteni ei jõudnud ühtegi otsest isikuandmetega seostatavat teavet. Terviseandmete võrreldavuse ja analüüsivalmiduse suurendamiseks teisendati RITA MAITT andmestik OMOP CDM struktuuri. Standardiseerimine võimaldas ühendada eri tüüpi andmed ühtsesse raamistikku, säilitades kogu olulise informatsiooni.

Käesoleva töö puhul oli oluline valida just need tabelid, mis aitavad seostada meditsiinilisi protseduure nende toimumise aja ja kohaga. Selleks on kasutatud:

- `procedure_occurrence` – sisaldab andmeid sooritatud meditsiiniliste protseduuride kohta, võimaldades hinnata protseduuride esinemissagedust;
- `visit_occurrence` – kirjeldab patsiendi haiglakülastusi, võimaldades siduda protseduurid konkreetsete haiglakülastuste ja kuupäevadega;

² <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/ajaloolised-ilmaandmed/> (25.03.2025)

- `care_site` – võimaldab seostada protseduurid konkreetsete haiglate või raviasutustega;
- `concept` – ühendab andmete koodid ja nende selgitused, aidates protseduure ja diagnoose õigesti tõlgendada.

Need tabelid koos annavad vajaliku ülevaate, millised protseduurid toimusid, millal ja mis haiglas. Töös kasutati andmeid järgmistest haiglatest:

- Tartu Ülikooli Kliinikum SA
- Ida-Tallinna Keskhaigla AS
- Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA
- Lääne-Tallinna Keskhaigla AS
- Tallinna Lastehaigla SA
- Pärnu Haigla SA
- Läänemaa Haigla SA
- Hiiumaa Haigla SA
- Ida-Viru Keskhaigla SA
- Rakvere Haigla AS
- Kuressaare Haigla SA
- Narva Haigla SA
- Järvamaa Haigla AS
- Valga Haigla AS
- Viljandi Haigla SA
- Lõuna-Eesti Haigla AS
- Jõgeva Haigla SA
- Raplamaa Haigla SA
- Rapla Maakonna Haigla SA

Raplamaa puhul esines andmestikus kaks nimetust – „Raplamaa Haigla SA“ ja „Rapla Maakonna Haigla SA“. Kuna need viitavad samale asutusele, ühendati need töö käigus kokku „Raplamaa Haigla SA“ alla, kuna selle nime all praegu tegutsetakse. Järgmisena vaatleme temperatuuriga seotud andmeid, mis on vajalikud analüüsi edasisteks etappideks ja seoste leidmiseks terviseandmetega.

3.2 Õhutemperatuur

Temperatuurinäitajate kogumisel ja töötlemisel oli eesmärgiks luua analüüsiks sobiv ajas järjestatud andmestik, mis iseloomustab Eesti eri piirkondade päevast õhutemperatuuri valitud aastatel. Kuna meditsiiniliste protseduuride toimumise aeg on kirjas kalendripäeva täpsusega, tuli ka temperatuuriandmed viia samale tasemele, ehk iga päeva kohta üks vastav temperatuuriväärtus. Samuti oli oluline valida välja sobivad automaatjaamad, mis on mõõtnud andmeid piirkonnas, kus asuvad ka töös vaaldeldavad haiglad.

Jaamade valikul on lähtutud põhimõttest, et iga haigla, mille andmeid analüüsiti, oleks sobitatud võimalikult lähedal asuva ilmajaamaga. Selle saavutamiseks oli abiks Keskkonnaagentuuri seirevõrgu veebileht³. Peale selle pidi veenduma, et oleksid olemas andmed aastast 2012 kuni 2019, et ühtida terviseandmete ajavahemikuga. Alljärgnevalt on esitatud linnade ja neid esindavate ilmajaamade loetelu, mille andmeid kasutati. Mõnel juhul ei asu jaam täpselt samas linnas, kus haigla, kuid tegemist on lähima sobiva mõõtepunktiga, millel on piisavalt andmeid:

- Haapsalu – Haapsalu (2007–2024)
- Jõgeva – Jõgeva (2004–2024)
- Jõhvi – Jõhvi (2004–2024)
- Kärdla – Ristna (2004–2024)
- Kuressaare – Roomassaare (2008–2024)
- Narva – Narva-Jõesuu (2004–19.12.2013), Narva (19.12.2013–2024)
- Paide – Türi (2004–2024)
- Pärnu – Pärnu-Sauga (01.12.2004–31.03.2019), Pärnu (01.04.2019–2024)
- Rakvere – Kunda (2004–2024)
- Rapla – Kuusiku (2004–2024)
- Tallinn – Tallinn-Harku (2004–2024)
- Tartu – Tartu-Tõravere (2004–2024)
- Valga – Valga (2004–2024)
- Viljandi – Viljandi (2004–2024)
- Võru – Võru (2004–2024)

³ <https://www.ilmateenistus.ee/meist/vaatlusvork/> (25.03.2025)

Pärast ilmajaamade määramist viidi läbi temperatuurfailide eeltöötlus. Esmalt pidi Narva ja Pärnu puhul kummagi linna kohta ühendama kaks faili, et kogu ajaperiood oleks kaetud. Kuna algsed andmed olid tunnipõhised, oli vaja need edaspidiseks protsessiks teisendada päevapõhiseks. Selleks leiti iga päeva kohta kella 8.00–19.00 (kaasa arvatud) vahemikus mõõdetud õhutemperatuuride keskmine väärtus. Just need kellaajad valiti, kuna tegemist on üldiselt aktiivsema päevase ajaga, kui inimesed viibivad rohkem väliskeskkonnas ning ka haiglates toimub intensiivsem töö, sealhulgas protseduuride teostamine.

Eeltöötuse tulemusena valmis iga vaadeldud piirkonna kohta ühtlustatud ja puhastatud andmestik, kus iga rida vastab konkreetsele kuupäevale (veerg `Date`) ning sisaldab vastava päeva aktiivsetel tundidel mõõdetud õhutemperatuuride keskmist väärtust (veerg `Day_temp`). Kokku koostati 15 sellist faili, hõlmates järgmisi linnu: Haapsalu, Jõgeva, Jõhvi, Kärkla, Kuressaare, Narva, Paide, Pärnu, Rakvere, Rapla, Tallinn, Tartu, Valga, Viljandi ja Võru. Sellise struktuuriga andmed olid sobilikud, et hakata neid siduma meditsiiniliste protseduuridega.

3.3 Tervise- ja temperatuuriandmete sidumine

Selles peatükis kirjeldatakse, kuidas eelnevalt kogutud andmed ühendati. Eesmärgiks oli luua kooskõlastatud andmestik, mida on võimalik kasutada DLNM meetodi rakendamiseks ja tervisemõjude analüüsimiseks. Järgnevalt kirjeldatakse olulisi samme, mis võimaldasid erineva päritoluga andmeid siduda.

Esmalt ühendati iga haigla nimi (`care_site_name`) linnaga, kus haigla paikneb. See samm oli vajalik, et haiglaandmed saaks sobitada vastava piirkonna temperatuurinäitajatega. Seosed määrati käsitsi koostatud tabeli alusel, kus näiteks Tartu Ülikooli Kliinikum SA seostati Tartuga ning Pärnu Haigla SA Pärnuga. Mõnel juhul ei asunud lähim automaatilmajaam küll samas linnas, kuid valiti sobivaim läheduses asuv mõõtepunkt – näiteks Järvamaa Haigla AS puhul Türiil asuv jaam, kuna see oli Paidele kõige lähem. Ka temperatuurifailide nimed ei kattunud alati linna täpse nimega – näiteks „Kunda_Rakvere“ või „Hiiumaa“ –, kuid need on nimetatud nii, et peegeldaksid selgelt haigla ja mõõtekoha vahelist seost.

Lõpuks ühendati mõlemad andmestikud, kasutades selleks kahte ühist tunnust – kuupäeva ja linna. Protseduuride andmestikus olid need lisatud vastavalt protseduuri toimumise kuupäeva ja haigla asukoha järgi, temperatuuride andmestikus tuletati need failinimest ja mõõtekuupäevast. Enne liitmist muudeti kuupäevad samasse vormingusse, et tagada andmete

sobivus. Ühendamine viidi läbi sisuliselt nii, et iga protseduurikirjele lisati selle päevaga vastav temperatuuri väärtus samas linnas. Tulemuseks saadud koondtabel sisaldas iga protseduuri toimumise kuupäeva (`Date`), haigla nime (`care_site_name`), asukohalinna (`City`), protseduuride koguarvu (`Procedure_count`) ja vastava päeva keskmist temperatuuri (`Day_temp`), selle näidet saab näha lisas 1. Kui andmed ühendati soojuskaardi jaoks kõik korraga, hõlmas tulemus mitut protseduuri ning tabelisse lisati ka iga protseduuri unikaalne tunnus (`procedure_concept_id`), et võimaldada nende eristamist ja võrdlemist (vt näidet lisas 2). Selline struktuur sobib edasiseks kasutamiseks DLNM mudeli sisendina. Ülesehitusest ja metoodikast saab rohkem lugeda peale järgmist alapeatükki.

3.4 Andmete kättesaadavus

Kuna tööks kasutati pseudonüümitud, kuid siiski tundlike terviseandmeid, viidi kogu andmetöötlus ja analüüs läbi Tartu Ülikooli hallatavas SAPU keskkonnas – see on spetsiaalne turvaline virtuaalmasin, mida kasutavad ka terviseinformaatika uurimisrühma liikmed. SAPU on üles ehitatud viisil, mis ei võimalda andmete arvutist väljaviimist ega nende juhuslikku lekkimist, mistõttu sobib see hästi tundlike andmete turvaliseks analüüsimiseks. Kuigi töö käigus loodud rakenduse lähtekood on avalikult kättesaadav GitHubis⁴ koos puhastatud temperatuurifailide ja protseduuride loeteluga, ei ole rakenduse iseseisev kasutamine võimalik ilma OMOP CDM formaadis terviseandmete olemasoluta. Rakendusega kaasasolevad temperatuurifailid katavad Eesti valitud piirkondi aastatel 2012–2019. Muude riikide või piirkondade puhul tuleb analüüsi läbiviimiseks koostada vastav asukohapõhine keskkonnateguri andmestik (nt temperatuur, õhuniiskus vms), mis sobitub terviseandmetega kuupäeva ja asukoha alusel.

⁴ <https://github.com/ElisVingisar/procedure-temperature-app>

4. Tööriista ülesehitus ja metoodika

Siin peatükis kirjeldatakse loodud tööriista funktsionaalsuse ülesehitust ning selle arendamisel kasutatud metoodikat. Tuuakse välja, kuidas valiti analüüsiks meditsiinilised protseduurid, määrati viitpäevade ulatus ning rakendati Distributed Lag Non-Linear Model (DLNM) meetodit. Lisaks selgitatakse, millisel viisil visualiseeritakse tulemusi interaktiivses rakenduses, et toetada kasutaja võimalusi uurida seoseid õhutemperatuuri ja haiglates teostatud protseduuride vahel.

4.1 Protseduuride valimine

Kuna RITA MAITT andmestikus esineb väga palju erinevaid protseduure, valiti töö jaoks 45 protseduuri 150 hulgast, mida eelmainitud haiglates kõige sagedamini tehti. Nende kohta uuritakse seoseid toimumise sageduse ja temperatuuri vahel. Nii sai kindel olla, et tööriist suudab ajaliselt mõistlikus piires arvutused ära teha ning võrreldavad tulemused kasutajale kuvada. Valiku koostas töö juhendaja Neeme Ilves ning selle tegemisel arvestati järgmiste üldpõhimõtetega:

- Eelistati protseduure, mille sagedus võib olla loogiliselt seotud äärmuslike temperatuuridega (nt hingamisteede, seedetrakti, erakorralised protseduurid);
- Välditi väga spetsiifilisi, harvaesinevaid või tehniliselt ebaselgeid protseduure, mille seost ilmastikuga oleks keeruline tõlgendada. Näiteks jäeti välja protseduurid nagu *hot mud treatment* või *supply of spectacles*, kuna need on spetsiifilise otstarbega ja eeldatavasti ei ole nende sagedus otseselt mõjutatud ilmastikutingimustest.
- Ei kasutatud protseduure, mis on üldiselt pikalt ette planeeritud või pikaajalise ravi osad, nagu keemiaravi või psühhoteraapia.

Valim põhineb osaliselt ka varasemal meditsiinilisel kogemusel ja ekspertteadmistel ning seetõttu ei esitata käesolevas töös iga protseduuri kohta eraldi põhjendust, vaid kasutatakse juhendaja poolt eelnevalt koostatud nimekirja. Valitud protseduuride tabel on leitav lisa 3.

4.2 Viitpäevade seadmine

Viitpäevad (ingl *lag days*) määratleti eesmärgiga uurida, millise ajalise nihkega võib õhutemperatuuri mõju avalduda haiglates teostatud meditsiinilistele protseduuridele. Temperatuuri mõju tervisele ei pruugi avalduda kohe samal päeval – mõjud võivad ilmneda alles mitme päeva pärast, sõltuvalt nii inimese vastuvõtlikkusest kui ka haiguse iseloomust.

Seetõttu on oluline hinnata ka ajas edasi lükkunud mõju, mitte ainult vahetut seost samal päeval.

Selles töös on rakenduses võimalik analüüsida kuni kümnapäevast viiteperioodi. Selline ajavahemik võimaldab hõlmata nii kiireid kui ka mõõduka viitega mõjusid, mida on kirjeldatud ka varasemates uurimustes (vt peatükk 2.1). Samal ajal välditakse pikemat perioodi, kus suureneks oht, et esinevad mustrid on põhjustatud muudest teguritest kui temperatuur.

4.3 DLNM mudeli rakendamine

Statistilise analüüsi läbiviimiseks kasutati DLNM meetodit (vt peatükk 2.3), mis võimaldab uurida, kuidas õhutemperatuur mõjutab haiglates tehtavate protseduuride sagedust, võttes arvesse nii mõju võimalikke viivitusi kui ka seda, et seos ei pruugi olla lineaarne. Analüüs viidi läbi iga haigla ja protseduuri kombinatsiooni kohta eraldi. Selleks kasutati eelnevalt loodud päevapõhist andmestikku, kus iga kirje kajastas konkreetse protseduuri toimumise kuupäeva, sellele vastavat haiglat ning päeva keskmist temperatuuri.

DLNM-mudeli rakendamisel võrreldakse iga temperatuuritaseme mõju konkreetse võrdlustemperatuuriga, mille suhtes arvutatakse suhteline risk (RR). See temperatuur ei ole üleriigiline ega üldine keskmine, vaid arvutatakse iga haigla ja protseduuri kombinatsiooni kohta eraldi. Täpsemalt võetakse võrdlustemperatuuriks nende päevade temperatuuride mediaan, mil vaadeldavat protseduuri selles haiglas tegelikult tehti. Selline lähenemine aitab luua võrdluspunkti, mis näitab just selle konkreetse protseduuri tüüpilisi toimumise olusid – mitte kogu aasta keskmist, vaid just neid päevi, mil protseduure päriselt tehti.

Temperatuuri mõju ajas edasi kandumise kujutamiseks loodi ristbaasi (ingl *cross-basis*) funktsioon, kus kasutati naturaalseid splaine (ingl *natural spline*), et paindlikult kirjeldada nii temperatuuritasemete kui ka mõju avaldumise aega. Vabadusastmed (ingl *degree of freedom*) määravad, kui suure paindlikkusega mudel suudab andmetesse sobitada – teisisõnu, kui palju lokaalset kõverust või muutlikkust seose kirjeldamisel lubatakse. Temperatuurile ja viitpäevadele valiti vastavalt 6 ja 5 vabadusastet, kuna liiga suure vabadusastme korral ei ole andmestik piisav mudeli stabiilseks sobitamiseks, samas kui liiga väikese arvu korral kipub DLNM seoseid üle- või alahindama.

DLNM mudelid sobitati kvaasi-Poissoni regressiooni abil. See meetod sobib hästi sellise andmetüübi jaoks, kus analüüsitakse, mitu korda mingi sündmus – näiteks meditsiiniline protseduur – toimub iga päev. Tavaline Poissoni regressioon eeldab, et sündmuste arv päevas

ei kõigu liialt ning et sündmused toimuvad sõltumatult üksteisest, ehk ühe päeva tulemus ei mõjuta teise päeva oma. Protseduuride arv võib päeviti üsna palju kõikuda – mõnel päeval tehakse neid väga vähe, teisel jälle ebatavaliselt palju. Kvaasi-Poissoni regressioon võimaldab seda suuremat kõikumist arvesse võtta, et mudel ei alahindaks andmete ebaregulaarsust. See aitab omakorda saada realistlikumad tulemused ja usaldusväärsemad hinnangud temperatuurimõju kohta. Seoste tõlgendamiseks on oluline neid selgelt visualiseerida, mille ülesehituse põhimõtteid tutvustatakse järgmises alapeatükis.

4.4 Tulemuste visualiseerimine

Analüüsi tulemusi esitatakse visuaalselt interaktiivses rakenduses, et võimaldada kasutajal uurida erinevaid mustreid või konkreetse haigla ja protseduuri seoseid. Visualiseerimiseks kasutatakse peamiselt kahte vormi: soojuskaardid (ingl *heatmap*) ning joondiagrammid. Järgnevas lõikudes on seletatud kasutatud graafikuid detailsemalt.

Soojuskaart võimaldab saada kiiremat ja laiemat ülevaadet seostest erinevate haiglate ja protseduuride kaupa. Tulemuseks on värviline kaart, mille x-teljel on haiglad ja y-teljel meditsiinilised protseduurid. Värvide intensiivsus näitab, kui palju on protseduuri esinemise risk kõrgem või madalam võrreldes võrdlustemperatuuriga – punane viitab suuremale ning sinine väiksemale sagedusele. Tulemuste parema tõlgendamise jaoks on lisatud graafikule ka tärnid (*), mis tähistavad statistiliselt olulisi tulemusi, ehk neid, mille usaldusvahemik ei sisalda $RR=1$.

Joondiagrammide üldine eesmärk on esitada, kuidas suhteline risk muutub temperatuurist ja viitajast sõltuvalt. Üks graafik näitab riski muutumist temperatuuride ning teine viitaegade lõikes. Mõlemad graafikutüübid sisaldavad 95% usaldusvahemikke ning võimaldavad visualiseerida kas temperatuuri mõju eri päevade järel või mõju ulatust temperatuuriskaalal.

Need visualiseerimise vormid võimaldavad analüüsida seoste olemust mitmest vaatenurgast. See aitab kasutajal paremini mõista, kas ja kuidas mõjutavad erinevad õhutemperatuurid meditsiinilisi protseduure, ning millised haiglad või protseduurid on potentsiaalselt kõige tundlikumad. Rakenduse interaktiivsete funktsioonide, graafikute detailsem kirjeldus ja näidisuuring on esitatud järgmises peatükis.

5. Tulemused

Tulemuste peatükis tutvustatakse valminud interaktiivse rakenduse funktsionaalsust ning selle abil läbi viidud näidisanalüüsi. Peatüki esimeses alajaotuses kirjeldatakse tööriista praktilisi kasutusvõimalusi, sh kasutajaliidese loogikat ja analüüside käivitamise toiminguid. Teises alajaotuses esitatakse valitud haiglate ja protseduuride põhjal koostatud näidisuuringu tulemused, et demonstreerida tööriista võimekust seoste tuvastamisel ja visuaalsel tõlgendamisel.

5.1 Tööriist

Valminud tööriist on loodud R-i baasil, kasutades Shiny raamistikku, ning selle lähtekood on avalikult kättesaadav GitHubi lehel: <https://github.com/ElisVingisar/procedure-temperature-app>. Rakenduse realiseerimiseks kasutati mitmeid R-pakette, sealhulgas *shiny*⁵, *shinyjs*⁶, *plotly*⁷, *dlnm*⁸, *RColorBrewer*⁹, *DT*¹⁰, *dplyr*¹¹, *tidyr*¹², *tibble*¹³, *DatabaseConnector*¹⁴ ja *later*¹⁵, mis toetasid vastavalt kasutajaliidese loomist, interaktiivsust, andmetöötlust, andmebaasiühendusi ning analüüsi- ja visualiseerimisfunktsionaalsusi. Loodud vahend võimaldab kasutajal analüüsida seoseid õhutemperatuuri ja meditsiiniliste protseduuride sageduse vahel. Rakenduse ülesehitus on loodud nii, et see oleks kasutajale arusaadav ning võimaldaks andmeid vaadelda erinevatest vaatenurkadest. Tööriista vaade jaguneb sisuliselt kaheks: „Heatmap“ ja „Plots“.

Esimene ja vaikimisi avanev vaade on „Heatmap“, ehk soojuskaartide vahekaart. Sellel on omakorda kaks alamlehte: „Generate“ ja „Compare“. „Generate“ lehe eesmärk on anda kiire ülevaade seostest haiglate ja valitud protseduuride vahel ning salvestada genereeritud graafikud

⁵ <https://cran.r-project.org/package=shiny>

⁶ <https://cran.r-project.org/package=shinyjs>

⁷ <https://cran.r-project.org/package=plotly>

⁸ <https://cran.r-project.org/package=dlnm>

⁹ <https://cran.r-project.org/package=RColorBrewer>

¹⁰ <https://cran.r-project.org/package=DT>

¹¹ <https://cran.r-project.org/package=dplyr>

¹² <https://cran.r-project.org/package=tidyr>

¹³ <https://cran.r-project.org/package=tibble>

¹⁴ <https://github.com/OHDSI/DatabaseConnector>

¹⁵ <https://cran.r-project.org/package=later>

ajutiselt jooksva sessiooni mällu. Kasutaja saab määrata huvipakkuva temperatuuri ja viitpäeva (vt joonis 4), mille alusel arvutatakse suhteline risk kõikide vaatluses olevate haiglate ja eelnevalt valitud 45 protseduuri kohta.

Temperature:

Lag (days):

Show significant values for RR > 1

Show significant values for RR < 1

Select heatmaps to compare:

Temp:20_Lag:0

Temp:-20_Lag:0

Temp:-12_Lag:5

Temp:25_Lag:1

Filter significant values:

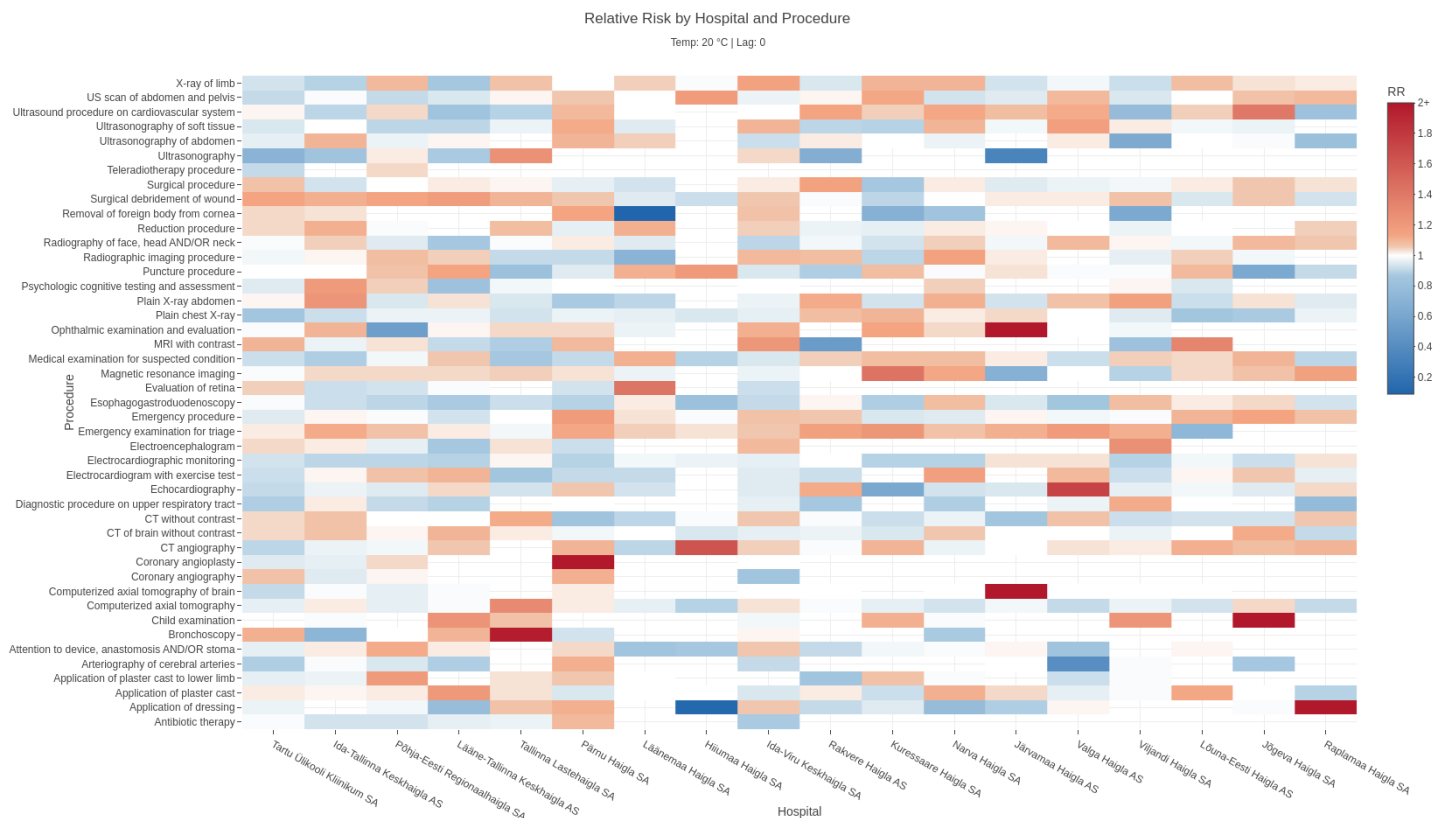
Show significant values for RR > 1

Show significant values for RR < 1

Joonis 4. Sisendväljad „Generate“ alamlehel.

Joonis 5. Sisendväljad „Compare“ alamlehel.

Tulemuseks on värvikaart, kus x-teljel on haiglad ja y-teljel protseduurid. Värvintensiivsus näitab riski suurust, kuid mitte seda, kas miski on statistiliselt oluline. Joonisel 6 on soojuskaart, kus on õhutemperatuuriks valitud 20 °C ning viitpäevaks 0, ehk kuidas on protseduurid mõjutatud vastava temperatuuriga samal päeval.

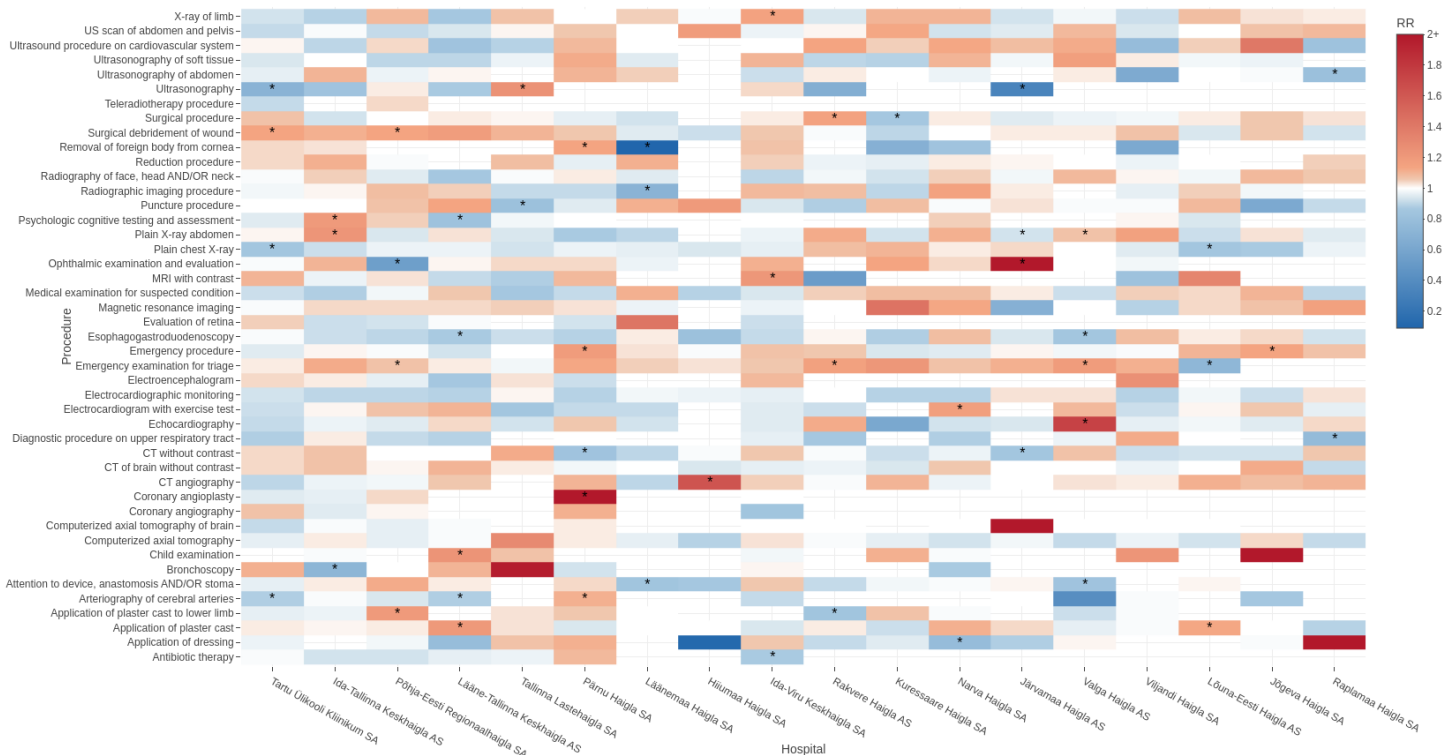


Joonis 6. Soojuskaart valitud temperatuuri ja viitpäeva põhjal.

Nii saab silma järgi eristada tulemusi värvi põhjal, kuid siinkohal on tähtis leida ka statistiliselt olulised tulemused, ehk need, mis arvestavad ka usaldusvahemikega. Selleks on võimalik aktiveerida filtreid, mis tõstavad vajalikud lahtrid tänu tärnidele (*) paremini esile. Saab valida, kas vaadata suurema ($RR > 1$) või väiksema ($RR < 1$) suhtelise riskiga tulemusi. Joonisel 7 on aktiveeritud mõlemad filtrid sama soojuskaardi kohta, ehk on näha kõik statistiliselt olulised tulemused.

Relative Risk by Hospital and Procedure

Temp: 20 °C | Lag: 0

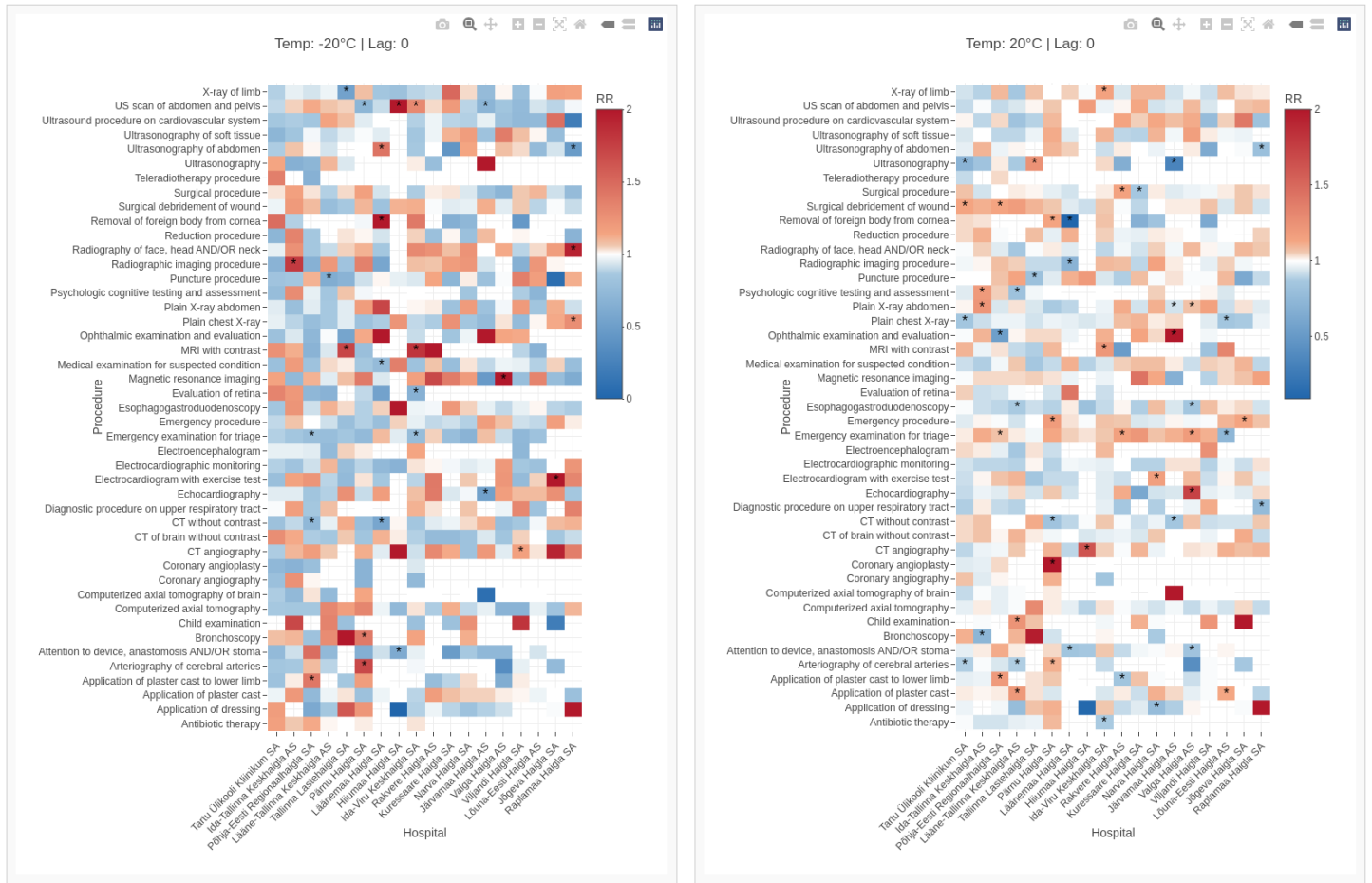


Joonis 7. Soojuskaart koos välja toodud statistiliselt oluliste lahtritega.

Kui mõne haigla puhul ei leidu analüüsis täpselt kasutaja määratud temperatuuri, kasutab rakendus selle asemel automaatselt kõige lähemal temperatuuril arvutatud suhtelist riski. “Generate” vahekaardil on ka kõik lahtrid interaktiivsed, ehk kui vajutada ükskõik millise lahtri peale, siis tuleb rakenduses ette “Plots” vahekaart, kuhu on automaatselt sisestatud kõik eelnevalt valitud andmed, ehk haigla, protseduur, viitpäev ning temperatuur. Seda, mida nende andmetega edasi tehakse teises vaates, kirjeldatakse hiljem detailsemalt.

Vahekaardil “Compare” saab kasutaja kõrvuti vaadata mitut varem genereeritud soojuskaarti. Sisendväljad, kus saab valida võrdlusesse lisatavaid kaarte ja lisada filtrid, on toodud joonisel 5. Erinevate tulemuste kõrvuti võrdlemine on kasulik, sest tee toob kiiresti välja, kuidas näiteks sama temperatuur mõjutab riske eri viitajaga või kuidas erinevad temperatuurid mõjutavad

samu kombinatsioone. Joonisel 8 on toodud välja võrdlus, kus mõlema graafiku viitpäevaks on 0, ja temperatuurid on -20 °C ja 20 °C.



Joonis 8. Kahe eelnevalt genereeritud soojuskaardi võrdlemine.

Mõlemal “Heatmap” vahekaardi alamlehel saab tulemuste paremaks jälgimiseks hoida hiirekursorit ükskõik millise lahtri kohal, et näha valitud haigla, protseduuri ja suhtelise riski väärtusi. See aitab kasutajal paremini järke hoida ja silmaga haarata, mis tulemusega täpselt tegu on.

Teine vaade “Plots” keskendub ühe konkreetse meditsiinilise protseduuri ja ühe või mitme haigla detailsele analüüsile. Kasutaja saab valida, kas sisestada protseduuri ID käsitsi või valida see eeldefineeritud loendist. Lisaks saab valida haigla(d), määrata soovitud viitpäevad ja sisestada temperatuur, mille mõju viivitust soovitakse hinnata. Joonisel 9 on näide sisendväljade valikuvõimalustest.

Select hospitals:

Select procedure input mode:
 Choose from list
 Enter concept ID manually

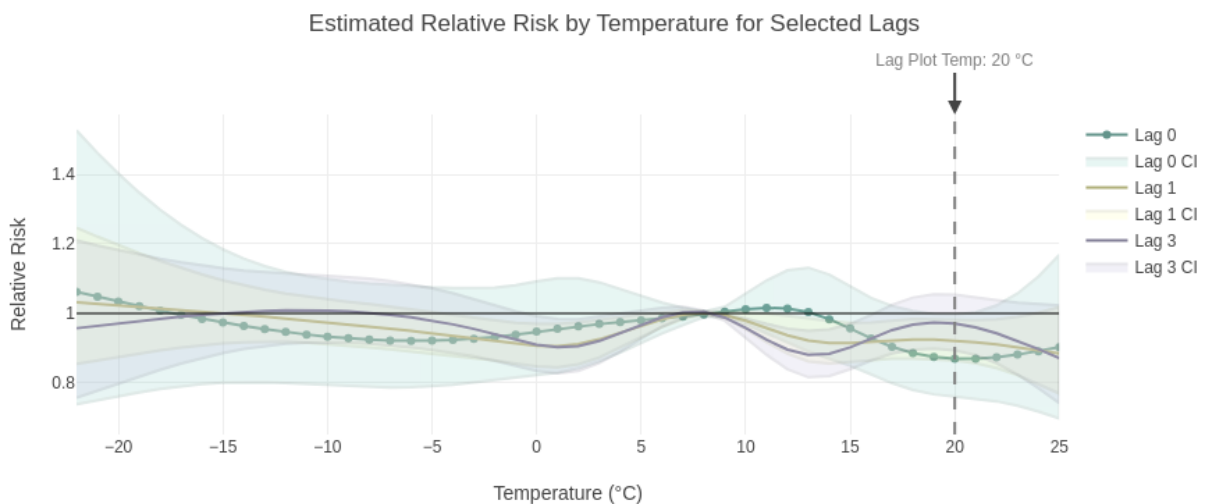
Select a procedure:

Select lag days (0 to 10):

Temperature value for lag plot (°C)

Joonis 9. Sisendväljad „Plots“ vahekaardil.

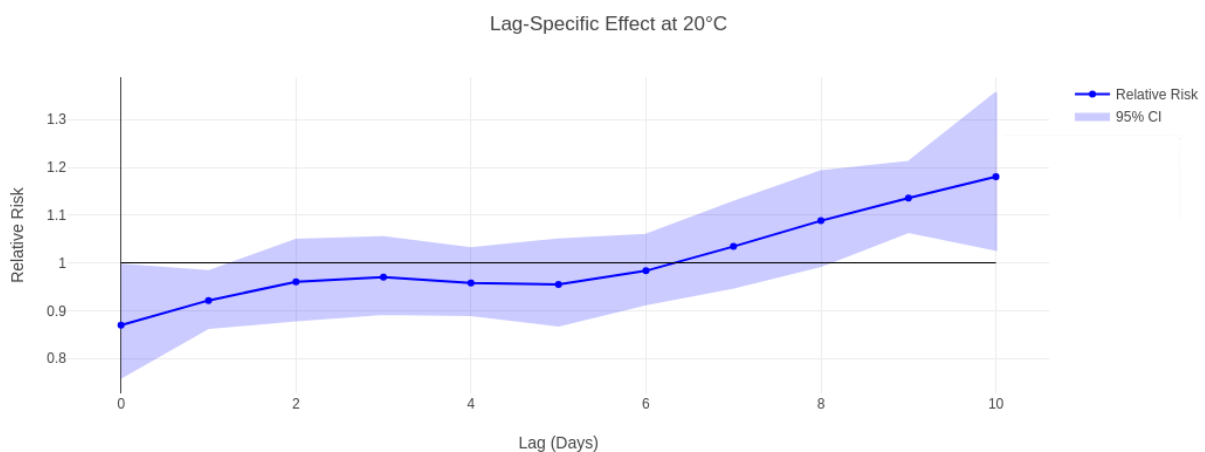
Tulemuste analüüsiks on lehel kaks joondiagrammi. Esimene esitab, kuidas valitud protseduuri suhteline risk muutub temperatuurivahemikus ning seda iga valitud viitajapäeva kohta. Graafiku x-teljel on õhutemperatuurid ja y-teljel suhteline risk (RR). Näiteks kui kasutaja valib protseduuri, haigla ning viitpäevadeks 0, 1, 5 ja 9, kuvatakse graafikul neli eri värviga joont. Sellisel juhul, kui viitpäeva 1 joone andmepunkt temperatuuril 26 °C näitab väärtust 1,4, tähendab see, et üks päev pärast 26-kraadist ilma on protseduuri esinemise risk 40% kõrgem kui võrdlustemperatuuril. Joonisel 10 on kujutatud graafikut juhuslikult valitud sisenditel.



Joonis 10. Suhtelise riski muutumine temperatuuride lõikes eri viitpäevadel.

Joonisel 10 tähistab katkendlik vertikaaljoon tekstiga „Lag Plot Temp: 20 °C“ seda temperatuuri, mida saab sisendvälja kirjutada ning mille alusel kuvatakse hiljem teisel graafikul tulemused. „Lag 0” joone peal on rakendatud punkte, mis on selleks, et peale graafiku ilmumist saaks visuaalselt paremini leida mingit kindlat joont. Kasutaja saab ise valida, millise joone peal punkte kasutada. Joonisel saab hoida kursorit andmepunktide kohal, et näha täpseid väärtusi, sealhulgas konkreetset temperatuuri, viitpäeva, suhtelise riski suurust, 95% usaldusvahemikku ning protseduuride hinnangulist arvu. Viimane näitab, kui palju protseduure võiks vastaval temperatuuril ja viitpäeval oodata, kui aluseks võtta nende keskmine arv juhtudel, kui temperatuur oli võrdlustaseme lähedal.

Teine graafik näitab, kuidas suhteline risk muutub erinevate viitpäevade lõikes kasutaja määratud temperatuuri väärtuse korral. See temperatuur sisestatakse käsitsi rakenduse vastavasse välja ning määrab, millise õhutemperatuuri mõju aja jooksul visualiseeritakse. Graafiku x-teljel on viitpäevad (0 kuni 10 päeva pärast temperatuuri) ja y-teljel vastav suhteline risk. Näiteks kui valitud temperatuuril on suhteline risk 1,2 seitsmendal viitpäeval, tähendab see, et nädal pärast sellist ilma on protseduuri esinemise risk 20% kõrgem võrreldes võrdlustasemega. Joonisel 11 on viitpäeva joondiagramm juhuslikult valitud sisenditega.



Joonis 11. Valitud temperatuuril suhtelise riski muutumine erinevatel viitpäevadel.

Andmepunktile kursoriga liikudes kuvatakse samad andmed nagu eelmisel joonisel – viitpäev, suhteline risk, usaldusvahemik ja hinnanguline protseduuride arv –, välja arvatud temperatuur, mis on fikseeritud sisendväärtusena.

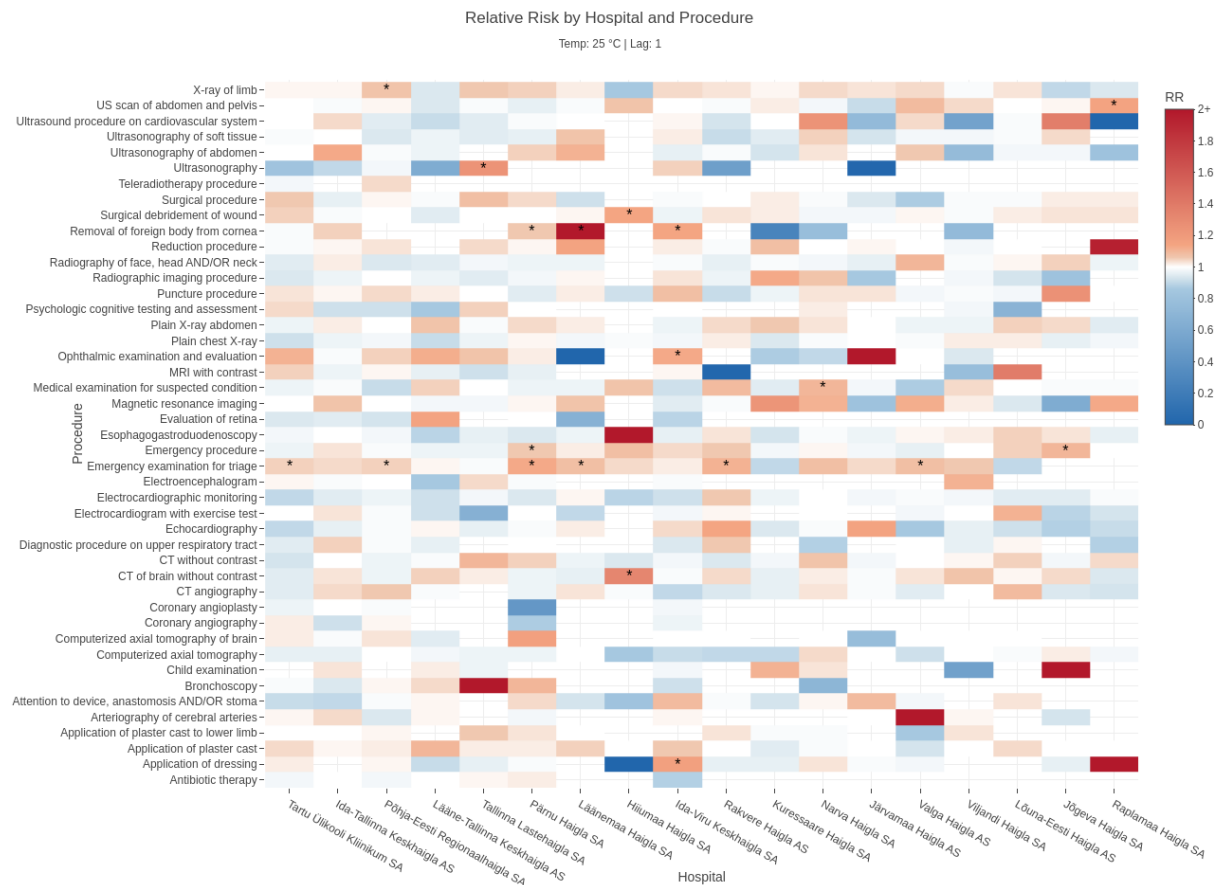
Seega võimaldab rakenduse ülesehitus kasutajal liikuda üldisest ülevaatest detailsema analüüsini. Kui kasutaja märkab „Generate“ alamlehe soojuskaardil huvipakkuvat väärtust, saab ta sellele lahtrile vajutades automaatselt liikuda „Plots“ vahekaardile, kus kuvatakse joonised sama haigla, protseduuri, temperatuuri ja viitpäeva kohta. Selline interaktiivne

töövoog toetab erinevate seoste tuvastamist ja uurimist. Järgmises alajaotuses on esitatud näidisuuring, mis demonstreerib tööriista praktilist kasutamist reaalse andmete põhjal.

5.2 Näidisuuring

Analüüsi käivitamisel saab kasutaja rakenduses ise määrata, milliseid seoseid täpsemalt uurida – võimalusi on palju ja valik sõltub alati uurimisküsimusest. Käesolevas näidisuuringus vaadeldi, kas ja kuidas võib 25 °C õhutemperatuur mõjutada erakorralise meditsiini osakonna koormust järgmisel päeval pärast selle temperatuuri esinemist.

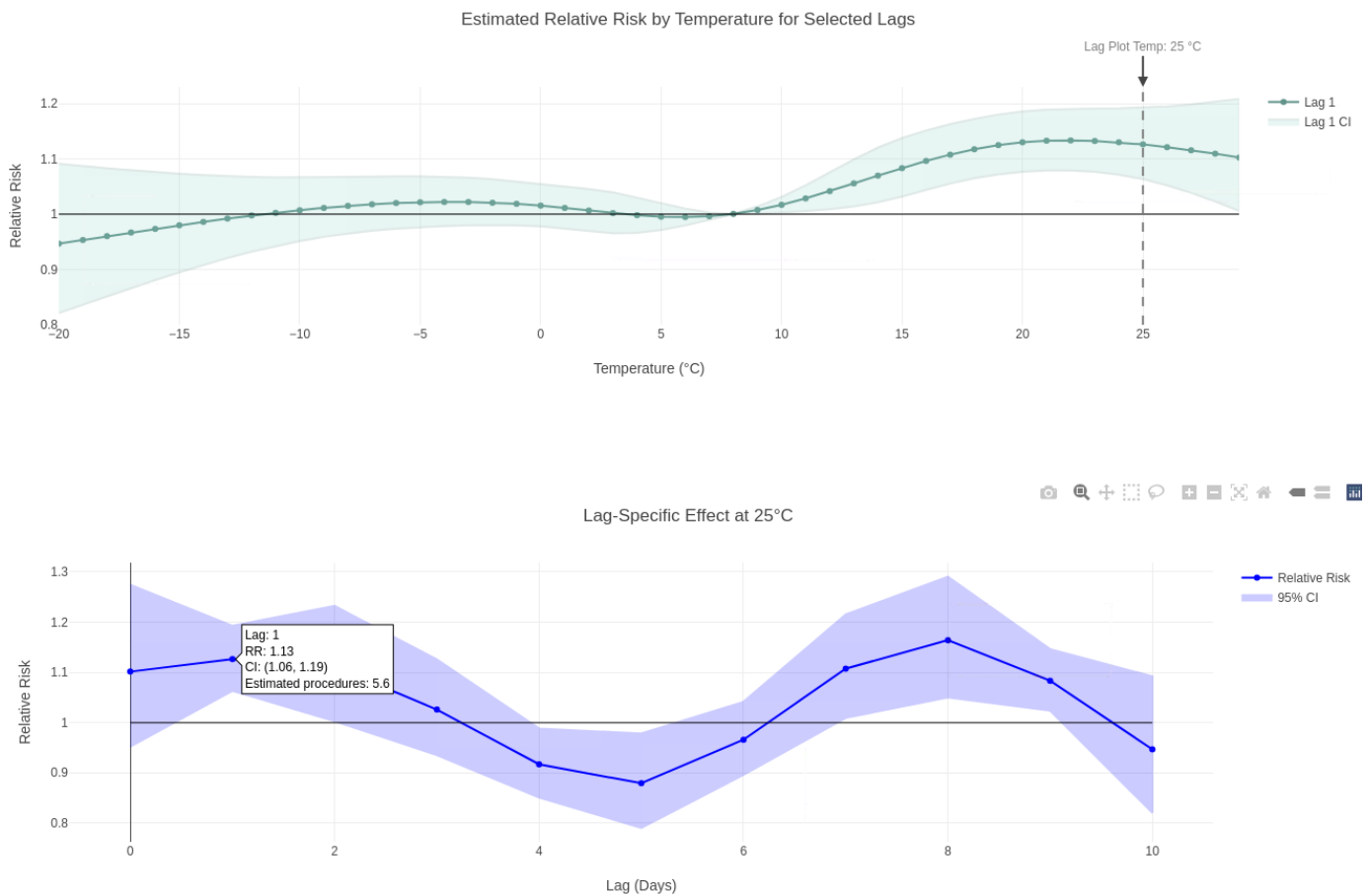
Esmalt kasutati „Generate“ alamlehte, kus valiti temperatuuriks 25 °C ja viitpäevaks 1. Soojuskaardil (vt joonis 12) on esile toodud kombinatsioonid, mille puhul on valitud tingimustel suhteline risk oluliselt tõusnud. Tulemuste põhjal selgus, et protseduur *Emergency examination for triage* on kuues haiglas selliste sisendite puhul märkimisväärselt sagedamini esinenud. Nendeks on: Tartu Ülikooli Kliinikum SA, Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA, Pärnu Haigla SA, Läänemaa Haigla SA, Rakvere Haigla AS ja Valga Haigla AS. Protseuur *Emergency Procedure* näitas tõusu Pärnu ja Jõgeva haiglates.



Joonis 12. Soojuskaart: 25 °C temperatuur ja viitpäev 1 koos oluliselt tõusnud väärtustega.

Detailsema vaatluse alla valiti Pärnu Haigla SA, kus mõlemad erakorralise osakonna tegevusega seotud protseduurid näitasid olulist tõusu. Järgnevalt analüüsiti neid kahte protseduuri eraldi „Plots“ vahekaardil, et uurida täpsemalt, kuidas temperatuur ja viitpäevad konkreetselt neid juhtumeid mõjutavad. Esmalt on kirjutatud *Emergency examination for triage* ja järgmisena *Emergency Procedure* protseduurist.

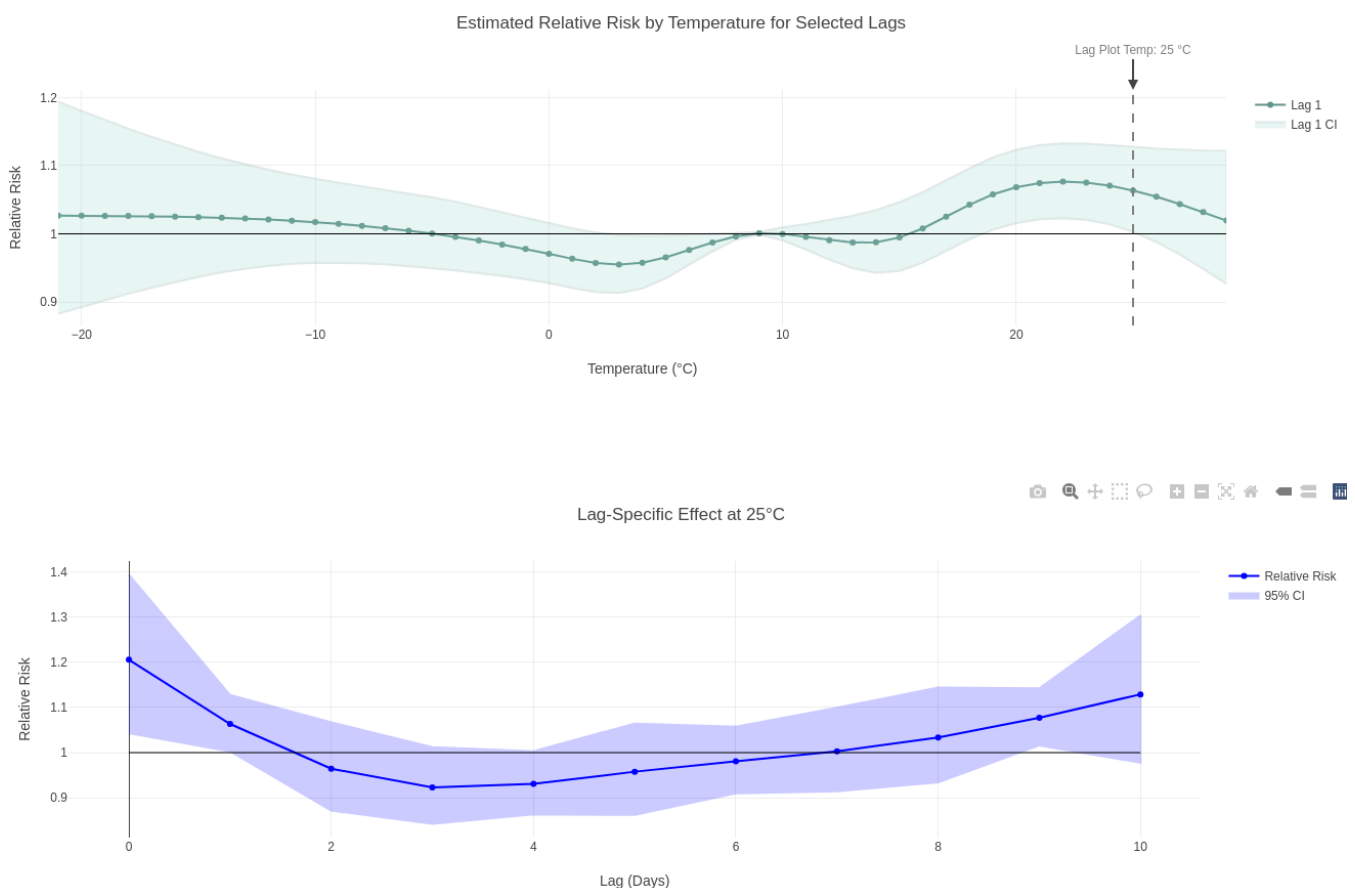
Pärast soojuskaardil vastava lahtri peale vajutamist avanes automaatselt „Plots“ vaade, kus programm täitis sisendväljad automaatselt: haiglaks Pärnu Haigla SA, protseduuriks triaaž, temperatuuriks 25 °C ja viitpäevaks 1. Joonisel 13 on ülemisel graafikul kujutatud suhtelise riski muutus kogu temperatuurivahemikus viitpäeva 1 puhul. Nagu näha, hakkab risk tõusma alates umbes 11 °C ning sealt edasi on kõik tulemused statistiliselt olulised. See viitab sellele, et kõrgemad temperatuurid on selgelt seotud suurema tõenäosusega, et antud protseduur järgmisel päeval aset leiab. Temperatuuril 25 °C on suhteline risk ligikaudu 1,13, mis tähendab 13% kõrgemat esinemissagedust võrreldes võrdlustemperatuuriga. Alumisel graafikul on sama temperatuuri korral näha suhtelise riski muutumist eri viitpäevadel.



Joonis 13. Protseduuri *Emergency examination for triage* suhtelise riski graafikud Pärnu Haiglas (temperatuur: 25 °C, viitpäev: 1).

Teisel joondiagrammil on näha, et mõju ilmneb selgelt vahetult järgmisel päeval pärast temperatuuri esinemist. Suhteline risk ulatub siis 1,13-ni ja jääb usaldusvahemikku (1,06 kuni 1,19). Järgnevatel päevadel risk väheneb, saavutades madalaima taseme 4. ja 5. viitpäeval. Seejärel täheldatakse uut tõusu seitsmendal, kaheksandal ja üheksandal päeval, mis võib viidata hilinenud mõjudele või muudele teguritele, mis vajaksid edasist analüüsi. Käesoleva töö eesmärk ei ole nende põhjuste detailne selgitamine, kuid mustri esinemine kinnitab, et temperatuuri mõju protseduuri sagedusele ei piirdu ainult vahetu järgnevusega.

Sarnaselt esimesele protseduurile analüüsiti edasi ka *Emergency procedure* sageduse muutust samadel tingimustel. Pärast vastava lahtri aktiveerimist soojuskaardil avanes „Plots“ vaade, kus sisenditeks olid automaatselt valitud Pärnu Haigla SA, erakorraline protseduur, temperatuur 25 °C ja viitpäev 1. Joonisel 14 on kujutatud vastavad tulemused.



Joonis 14. Protseduuri *Emergency Procedure* suhtelise riski graafikud Pärnu Haiglas (temperatuur: 25 °C, viitpäev: 1).

Siit on näha, et ka *Emergency Procedure* puhul esineb mingi teatud tõus kõrgemate temperatuuride korral. Ülemine graafik kujutab suhtelise riski muutust viitpäeval 1 ning viitab sellele, et soojemate ilmadega – eriti alates umbes 18 °C – võib protseduuri sagedus veidi

suurenda. Võrreldes esimese tulemusega on see seos aga mõnevõrra vähem väljendunud. Alumine graafik, mis näitab 25 °C mõju eri viitpäevadel, toob selgemalt esile, et suurim erinevus võrreldes tavapärase tasemega ilmneb protseduuri esinemisega samal päeval (viitpäev 0). Seejärel risk langeb ning püsib edaspidi üsna stabiilsel tasemel. Erinevalt esimesest protseduurist, kus mõju avaldus selgelt päev hiljem, viitab viimane muster sellele, et *Emergency Procedure* võib olla tundlikum kohesele temperatuuritõusule, mitte selle hilisemale mõjule.

See uuring ning saadud tulemused illustreerivad, kuidas interaktiivset tööriista saab rakendada konkreetsete seoste uurimiseks meditsiiniliste protseduuride ja õhutemperatuuri vahel. Ühe haigla ja kahe erineva protseduuri näitel ilmnesid nii kohese kui ka viibiva mõju mustrid, mis võivad osutada oluliseks planeerimisel ja valmisoleku hindamisel. Kuna tööriist võimaldab kiiresti muuta sisendeid ja analüüsida erinevaid haiglaid või protseduure, loob see hea aluse sarnaste analüüside läbiviimiseks ka teistes kontekstides või põhjalikumates uuringutes.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli luua vahend, mis võimaldab analüüsida seoseid õhutemperatuuri ja meditsiiniliste protseduuride sageduse vahel Eesti haiglates, kasutades selleks OMOP CDM standardil põhinevat terviseandmestikku. Töö keskendus sellele, kuidas mõjutavad erinevad temperatuurid ja nende viitega mõjud haiglate töökoormust konkreetsete protseduuride lõikes. Tööriist on loodud tervishoiu planeerimise toetamiseks ja keskkonnategurite mõjude paremini mõistmiseks standardiseeritud andmete põhjal.

Analüüsis kasutati RITA MAITT projektist pärit terviseandmestikku, mis oli viidud OMOP CDM andmemudeli kujule. Temperatuurandmed pärinesid Eesti Keskkonnaagentuuri mõõtejaamadest. Tervise- ja temperatuurinäitajad ühendati kuupäeva ja haigla asukoha alusel, et võimaldada täpset seoste hindamist. Analüüsiks kasutati DLNM meetodit, mis võtab arvesse nii viitega avalduvat mõju kui ka mittelinearseid seoseid.

Töö käigus loodi interaktiivne Shiny rakendus, kus kasutaja saab valida haigla, protseduuri, temperatuuri ja viitpäevad ning vaadata, kuidas suhteline risk muutub. Rakendusel on kaks põhivaadet: graafikute vaade, mis näitab riski muutust temperatuuride ja viitpäevade lõikes, ning soojuskaardi vaade, mis toob kiiremalt esile statistiliselt olulised seosed haiglate ja protseduuride vahel. Lisaks viidi läbi näidisuuring, kus uuriti, kuidas mõjutab 25 °C õhutemperatuur erakorralise meditsiini osakonna koormust järgmisel päeval pärast temperatuuri esinemist. Pärnu haigla näitel selgus, et triaazi sagedus oli nendel tingimustel märgatavalt kõrgem. Erakorraliste protseduuride puhul ilmnes 25 °C õhutemperatuuri juures suurim suhteline risk kohe samal päeval. See tõi selgelt välja rakenduse praktilise kasutusvõimaluse.

Tulevikus saab rakendust laiendada, lisades analüüsivõimalusi teiste keskkonnategurite, näiteks õietolmu või õhuniiskuse kohta. Samuti võiks arvesse võtta ühiskondlikke mõjusid, nagu riigipühad või suurüritused. Rakendusel on potentsiaal laiemale kasutuseks, kuna seda saab kohandada teiste riikide OMOP CDM andmetele ning uutele või ulatuslikumatele Eesti andmestikele.

Töö viidi läbi vastavalt TÜ eetikakomitee ja Eesti bioetika ja inimuuringute nõukogu lubadele (load nr 300/T-23 ja 1.1-12/3088) ning projektide TEM-TA72 ja PRG1844 raames. Projekt TEM-TA72 on rahastatud Euroopa Liidu ja kaasrahastatud Haridus- ja Teadusministeeriumi poolt. Projekt PRG1844 on rahastatud Eesti Teadusagentuuri poolt.

Viidatud kirjandus

- [1] World Health Organization. Climate change. Fact sheet. 2023. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (12.05.2025)
- [2] European Environment Agency. Economic losses from weather- and climate-related extremes in Europe. 2024. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related> (12.05.2025)
- [3] Santé Publique France. Bulletin de santé publique – Heatwaves, France – Summer 2022. 2022. <https://www.santepubliquefrance.fr/en/bulletin-de-sante-publique-heatwaves-france-summer-2022> (12.05.2025)
- [4] Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S. L., Péan C., Berger S., et al. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press. 2021. 2391. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- [5] Hartinger S. M., Palmeiro-Silva Y. K., Llerena-Cayo C., Blanco-Villafuerte L., Escobar L. E., Diaz A., et al. The 2023 Latin America report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for health-centred climate-resilient development. *Lancet Regional Health – Americas*, 2024. 33, 100746. [https://www.thelancet.com/journals/lanam/article/PIIS2667-193X\(24\)00073-5/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanam/article/PIIS2667-193X(24)00073-5/fulltext)
- [6] Ascaso M.S., Díaz J., López-Bueno J.A., Navas M.A., Mirón I.J., Linares C. How heatwaves affect short-term emergency hospital admissions due to bacterial foodborne diseases. *Science of the Total Environment*. 2024. 946. <https://research.ebsco.com.ezproxy.utlib.ut.ee/linkprocessor/plink?id=abdb6416-d1ce-335c-9e18-de210534a36a>
- [7] Sohail H., Kollanus V., Tiittanen P., Schneider A., Lanki T. Heat, Heatwaves and Cardiorespiratory Hospital Admissions in Helsinki, Finland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020. 17, 7892. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7663418/>
- [8] Ponjoan A., Blanch J., Alves-Cabrato L., Martí-Lluch R., Comas-Cufí M., Parramon D., et al. Effects of extreme temperatures on cardiovascular emergency hospitalizations in a Mediterranean region: a self-controlled case series study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*. 2017. 16:1–9. <https://research.ebsco.com.ezproxy.utlib.ut.ee/linkprocessor/plink?id=53a9d7ba-1883-3c30-9a8d-15806cfe4a8d>

- [9] Kostopoulou E. Analysis of the January 2017 Cold Spell in Greece and Its Implications on Human Health. *Environmental Sciences Proceedings*. 2023. 26(1):195. <https://research-ebsco-com.ezproxy.utlib.ut.ee/linkprocessor/plink?id=7d200c63-2f05-36df-bf44-fb35f2a1663d>
- [10] Smid M., Russo S., Costa A.C., Granell C., Pebesma E. Ranking European capitals by exposure to heat waves and cold waves. *Urban Climate*. 2019. 27:388–402. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.12.010>
- [11] Russo, S., Dosio, A., Graversen, R. G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M. B., et al. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2014. 119(22), 12500–12512. <https://doi.org/10.1002/2014JD022098>
- [12] Oudin Åström D., Åström C., Rekker K., Indermitte E., Orru H. High Summer Temperatures and Mortality in Estonia. *PLoS ONE*. 2016;11(5):1–10. <https://research-ebsco-com.ezproxy.utlib.ut.ee/linkprocessor/plink?id=25cf1b35-84e5-396b-9fae-df6bfe002f79>
- [13] Vicedo-Cabrera, A. M., Scovronick, N., Sera, F., Royé D., Tobias, A., Guo, Y., et al. 2021. The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. *Nature Climate Change*, 11, 492–500. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01058-x>
- [14] Observational Health Data Sciences and Informatics (OHDSI). *Welcome to OHDSI!*. <https://www.ohdsi.org/> (17.04.2025)
- [15] Observational Health Data Sciences and Informatics (OHDSI). *Who We Are*. <https://www.ohdsi.org/who-we-are/> (17.04.2025)
- [16] Observational Health Data Sciences and Informatics (OHDSI). *Data Standardization*. <https://www.ohdsi.org/data-standardization/> (17.04.2025)
- [17] Observational Health Data Sciences and Informatics (OHDSI). *The Book of OHDSI: The Common Data Model*. <https://ohdsi.github.io/TheBookOfOhdsi/CommonDataModel> (17.04.2025)
- [18] Gasparri, A., Armstrong, B., & Kenward, M. G. Distributed lag non-linear models. *Statistics in medicine*. 2010; 29(21), 2224–2234. <https://doi.org/10.1002/sim.3940>
- [19] Gasparri A. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: The Package dlmm. *Journal of Statistical Software*. 2011. 43(8):1-20. <https://www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/view/v043i08>

[20] Solvak, M., Vilo, J., Reisberg, S., Tamm, S., Oja, M., et al. Programmi RITA tegevuse 1 projekti „Masinõppe ja AI toega teenused“ lõpparuanne. Tartu : Eesti Teadusagentuur, 2022. 95 lk. https://www.etag.ee/wp-content/uploads/2022/05/RITA_MAITT_LOPPARUANNE_FINAL.pdf

Lisa 1. Näide DLNM analüüsi sisendtabelist ühe protseduuri korral

1	Date	care_site_name	Procedure_count	City	Day_temp
2	2012-01-04	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	1	Tallinn	2.8
3	2012-01-05	Ida-Viru Keskhaigla SA	1	Johvi	0.7
4	2012-01-06	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	1	Tartu	0.5
5	2012-01-07	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	3	Tartu	-1.1
6	2012-01-09	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	1	Tallinn	-2.4
7	2012-01-10	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	2	Tallinn	-2.3
8	2012-01-10	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	2	Tartu	-3.1
9	2012-01-11	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	2	Tallinn	1.2
10	2012-01-13	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	2	Tallinn	-1.3
11	2012-01-14	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	2	Tallinn	-4.4
12	2012-01-14	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	2	Tartu	-2.6
13	2012-01-18	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	2	Tallinn	-4.1
14	2012-01-18	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	2	Tartu	-3.9
15	2012-01-20	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	1	Tartu	-4.2
16	2012-01-22	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	1	Tallinn	-5.3
17	2012-01-23	Ida-Viru Keskhaigla SA	2	Johvi	-8.9
18	2012-01-23	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	1	Tallinn	-5.6
19	2012-01-23	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	2	Tartu	-8
20	2012-01-25	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	2	Tallinn	-9.5
21	2012-01-29	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	2	Tartu	-14.3
22	2012-01-31	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	3	Tartu	-16.4
23	2012-02-01	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	2	Tartu	-19.2
24	2012-02-03	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	3	Tallinn	-20.9
25	2012-02-06	Ida-Viru Keskhaigla SA	2	Johvi	-18.7
26	2012-02-06	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	2	Tartu	-18.8
27	2012-02-07	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	1	Tallinn	-7.7
28	2012-02-07	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	3	Tallinn	-7.7
29	2012-02-07	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	1	Tartu	-13.4
30	2012-02-08	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	1	Tallinn	-11.5
31	2012-02-08	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	1	Tallinn	-11.5
32	2012-02-09	Ida-Viru Keskhaigla SA	2	Johvi	-13.6
33	2012-02-09	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	1	Tallinn	-9.5
34	2012-02-10	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	2	Tallinn	-10.6
35	2012-02-14	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	3	Tallinn	-3.1
36	2012-02-14	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	1	Tallinn	-3.1
37	2012-02-15	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	3	Tartu	-6.5
38	2012-02-16	Ida-Viru Keskhaigla SA	2	Johvi	-7.6
39	2012-02-21	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	1	Tallinn	0.4
40	2012-02-21	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	2	Tartu	-0.5
41	2012-02-22	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	2	Tartu	0.7
42	2012-02-28	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	3	Tallinn	-2.9

Lisa 2. Näide DLNM analüüsi sisendtabelist mitme protseduuri korral (soojuskaart)

1	procedure_concept_id	Date	Procedure_count	care_site_name	City	Day_temp
2	4046267	2012-01-01	1	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	Tallinn	-2.9
3	4046267	2012-01-01	1	Rakvere Haigla AS	Kunda_Rakvere	-3.2
4	4075360	2012-01-01	1	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	Tallinn	-2.9
5	4075360	2012-01-01	2	Kuressaare Haigla SA	Kuressaare	1.5
6	4075360	2012-01-01	4	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	Tallinn	-2.9
7	4075360	2012-01-01	1	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	Tartu	-2.5
8	4085730	2012-01-01	1	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	Tallinn	-2.9
9	4085730	2012-01-01	1	Ida-Viru Keskhaigla SA	Johvi	-3.4
10	4104795	2012-01-01	1	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	Tallinn	-2.9
11	4104795	2012-01-01	2	Viljandi Haigla SA	Viljandi	-2.6
12	4108844	2012-01-01	2	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	Tallinn	-2.9
13	4108844	2012-01-01	3	Ida-Viru Keskhaigla SA	Johvi	-3.4
14	4108844	2012-01-01	1	Lõuna-Eesti Haigla AS	Voru	-3.7
15	4108844	2012-01-01	1	Rakvere Haigla AS	Kunda_Rakvere	-3.2
16	4108844	2012-01-01	1	Tallinna Lastehaigla SA	Tallinn	-2.9
17	4108844	2012-01-01	1	Viljandi Haigla SA	Viljandi	-2.6
18	4138836	2012-01-01	1	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	Tartu	-2.5
19	4158569	2012-01-01	3	Ida-Viru Keskhaigla SA	Johvi	-3.4
20	4158569	2012-01-01	4	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	Tallinn	-2.9
21	4158569	2012-01-01	4	Pärnu Haigla SA	Pärnu	-1
22	4158569	2012-01-01	2	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	Tartu	-2.5
23	4163872	2012-01-01	2	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	Tallinn	-2.9
24	4163872	2012-01-01	1	Lääne-Tallinna Keskhaigla AS	Tallinn	-2.9
25	4163872	2012-01-01	1	Narva Haigla SA	Narva	-2.6
26	4163872	2012-01-01	1	Pärnu Haigla SA	Pärnu	-1
27	4163872	2012-01-01	1	Raplamaa Haigla SA	Rapla	-2.8
28	4163872	2012-01-01	1	Tallinna Lastehaigla SA	Tallinn	-2.9
29	4163903	2012-01-01	3	Ida-Viru Keskhaigla SA	Johvi	-3.4
30	4163903	2012-01-01	1	Järvamaa Haigla AS	Turi	-3.3
31	4163903	2012-01-01	1	Kuressaare Haigla SA	Kuressaare	1.5
32	4163903	2012-01-01	1	Lääne-Tallinna Keskhaigla AS	Tallinn	-2.9
33	4163903	2012-01-01	2	Põhja-Eesti Regionaalhaigla SA	Tallinn	-2.9
34	4163903	2012-01-01	5	Pärnu Haigla SA	Pärnu	-1
35	4163903	2012-01-01	1	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	Tartu	-2.5
36	4187078	2012-01-01	4	Ida-Tallinna Keskhaigla AS	Tallinn	-2.9
37	4187078	2012-01-01	2	Ida-Viru Keskhaigla SA	Johvi	-3.4
38	4187078	2012-01-01	1	Lääne-Tallinna Keskhaigla AS	Tallinn	-2.9
39	4187078	2012-01-01	1	Pärnu Haigla SA	Pärnu	-1
40	4187078	2012-01-01	1	Rakvere Haigla AS	Kunda_Rakvere	-3.2
41	4187078	2012-01-01	1	Tartu Ülikooli Kliinikum SA	Tartu	-2.5
42	4187078	2012-01-01	1	Valga Haigla AS	Valga	-3.1

Lisa 3. Valitud protseduurid

1	procedure_concept_id	concept_name
2	4085730	Antibiotic therapy
3	4305581	Application of dressing
4	4108844	Application of plaster cast
5	4079602	Application of plaster cast to lower limb
6	4138836	Arteriography of cerebral arteries
7	4213436	Attention to device, anastomosis AND/OR stoma
8	4032404	Bronchoscopy
9	4088016	Child examination
10	4300757	Computerized axial tomography
11	4145739	Computerized axial tomography of brain
12	4142645	Coronary angiography
13	4184832	Coronary angioplasty
14	4303663	CT angiography
15	4244986	CT of brain without contrast
16	4163903	CT without contrast
17	4183408	Diagnostic procedure on upper respiratory tract
18	4230911	Echocardiography
19	4261794	Electrocardiogram with exercise test
20	4187078	Electrocardiographic monitoring
21	4181917	Electroencephalogram
22	4075112	Emergency examination for triage
23	4158569	Emergency procedure
24	4294382	Esophagogastroduodenoscopy
25	4146305	Evaluation of retina
26	4013636	Magnetic resonance imaging
27	4064522	Medical examination for suspected condition
28	4198856	MRI with contrast
29	4263508	Ophthalmic examination and evaluation
30	4163872	Plain chest X-ray
31	4057900	Plain X-ray abdomen
32	4187379	Psychologic cognitive testing and assessment
33	4312604	Puncture procedure
34	4178367	Radiographic imaging procedure
35	4104795	Radiography of face, head AND/OR neck
36	4046267	Reduction procedure
37	4067028	Removal of foreign body from cornea
38	4075360	Surgical debridement of wound
39	4301351	Surgical procedure
40	4141448	Teleradiotherapy procedure
41	4037672	Ultrasonography
42	4261497	Ultrasonography of abdomen
43	4205771	Ultrasonography of soft tissue
44	4032254	Ultrasound procedure on cardiovascular system
45	4305221	US scan of abdomen and pelvis
46	46272790	X-ray of limb

Lisa 4. Litsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Elis Vingisar,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Õhutemperatuuri ja haiglates teostatud protseduuride seoste uurimine standardiseeritud terviseandmetel“, mille juhendajad on Neeme Ilves, Maria Malk ja Raivo Kolde, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada Tartu Ülikooli digitaalarhiivi kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;
2. annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi kaudu Creative Commonsi litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;
3. olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
4. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Elis Vingisar

15.05.2025