Valdkondlike stsenaariumidega eeldatavalt kaasneva õhusaaste põhjustatud tervisemõju muutuste hindamine kasutades saaste-indikaatorina ülipeente osakeste sisaldusi ENMAK 2030+ raames

Hans Orru

Tartu 2014

Sisukord

1. Sissejuhatus **3**

2. Ülipeened osakesed välisõhus ja nende tervisemõju **4**

2.1. Ülipeente osakeste tervisemõju Eestis 6

3. Metoodika **7**

3.1. Rahvastiku ja rahvastikusündmuste andmed 7

3.2. Ekspositsioon ülipeentele osakestele 7

3.3. Elanikkonna riskitasemete määramine ülipeente osakeste suhtes 8

3.4. Ülipeente osakestega kokkupuutest tulenevate varajaste surmade juhtude ning kaotatud eluaastate ja oodatava eluea lühenemise arvutamine 9

4. Tulemused **10**

4.1. Rahvastik ja rahvastikusündmused 10

4.2. Ülipeente osakeste sisaldus Eestis 11

4.3. Ülipeentele osakestele põhjustatud varajane suremus, kaotatud eluaastad ja oodatava eluea lühenemine 19

5. Arutelu **28**

6. Kokkuvõte **30**

7. Kasutatud kirjandus **31**

1. Sissejuhatus

Käesolev töö on osa strateegilisest keskkonnamõju hindamisest „Eesti pikaajaline energiamajanduse arengukava 2030+“ (edaspidi: ENMAK 2030+) raames. Arengukava kirjeldab Eesti energiapoliitika võimalikud arengusuunad aastani 2030, koos perspektiiviga aastani 2050. Arengukava koostamise eesmärgiks on valida optimaalseim energiavarustuse stsenaarium, mis oleks tarbijale mõistliku hinna ja kättesaadavusega, vähese keskkonnamõjuga, kooskõlas Euroopa Liidu pikaajaliste energia- ning kliimapoliitika eesmärkidega ning pikaajaliselt kõige konkurentsivõimelisem.

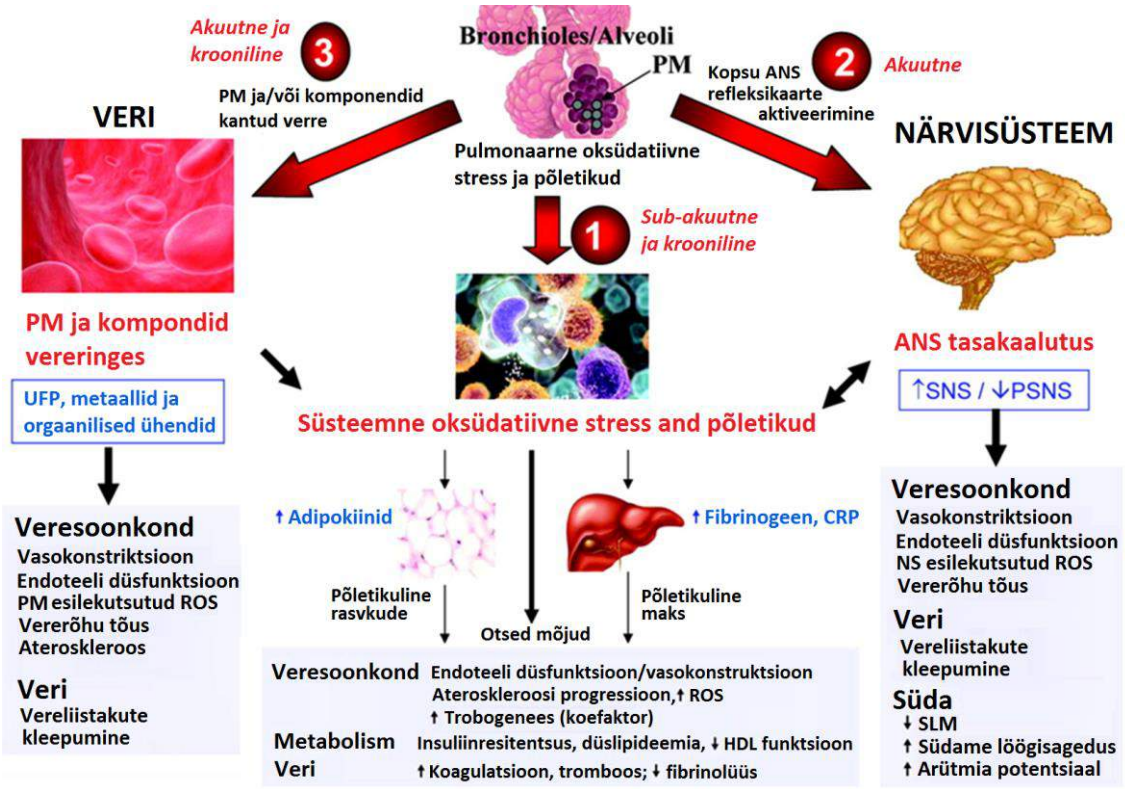
Antud arengukava keskendub valdkondadele nagu elektrimajandus, soojusmajandus, elamumajandus, transpordi energiakasutus ja kodumaiste kütuste tootmine. Hinnatakse riigipoolsete meetmete erinevate sekkumistasemete mõju: mittesekkuv, vähesekkuv ja aktiivselt sekkuv.

Ühiskonna jaoks on väga oluline mõju inimeste tervisele. Energiatootmine ja -tarbimine tekitab paratamatult ka õhusaastet, mille sissehingamine tekitab negatiivseid mõjusid elanike tervisele. Tehes pikaajalisi valikuid on äärmiselt oluline, et nende hulk oleks võimalikult väike. Käesolevas töö eesmärk on hinnata erinevate stsenaariumide mõju elanike tervisele, et aidata otsustajatel valida võimalikult vähesel määral tervist kahjustavad tehnoloogiaid ja optimaalseimaid sekkumistasemed.

Antud töö teostati huvipooltest sõltumatu keskkonnatervise eksperdi Hans Orru (PhD) poolt. Hans Orrul on pikaajaline kogemus õhusaaste tervisemõjude hindamisel nii Eestis (Kütteturba kaevandamise ja kasutamisega seotud terviseriskid, 2005; Välisõhu kvaliteedi mõju inimeste tervisele – peentest osakestest tuleneva mõju hindamine kogu Eesti lõikes I–III, 2007–2011; Maapinnalähedase osooni õhusaaste ekspositsiooni analüüs ja tervisemõjude hinnang, 2013–2015 jt), kui ka rahvusvaheliselt, olles osalenud tervisemõjude hindajana projektides: APHEKOM (2009–2011), Climate-Trap (2011–2013), Förbifart Stockholm (2012–2014), ACCEPTED (2013–2015), WHO initiated HIA in Vilnius and Kaunas (2009–2010), HIA in Sweden (2014).

2. Ülipeened osakesed välisõhus ja nende tervisemõju

Viimased uuringud on näidanud, et õhusaastes avaldavad kõige olulisemat tervisemõju peened ja ülipeened osakesed (WHO, 2013a). See oli ka põhjus, miks antud uuringus hinnati just ülipeente osakeste poolt põhjustatavat tervisemõju. Peente osakeste negatiivset mõju on näidatud nii rahvastikupõhistes epidemioloogilistes uuringutes, loomkatsetes (*in vivo*) kui rakukultuuride jms uuringutes (*in vitro*) (WHO, 2013a). Antud saasteaine võib viia südame-veresoonkonna haiguste, hingamisteede haiguste (astma, krooniline obstruktiivne kopsuhaigus, riniit, krooniline bronhiit, köha jt), kopsuvähi kui ka diabeedi, neurodegeneratiivsete häirete ja kognitiivsete võimete vähenemise ning madala sünnikaalu ja enneaegsuseni (WHO, 2013a, Liu jt., 2013, Ailshire ja Clarke, 2014, Proietti jt., 2012). Joonisel 1 on näidatud peamised võimalikud patofüsioloogilised teed, kuidas peened osakesed tervisekaebuseid esile kutsuvad. Olulisemad mehhanismid on põletiku tekitajate ja oksüdatiivsete omadustega ühendite vabastamine kopsus, autonoomsed mehhanismid läbi PS&S närvisüsteemi ning nanomõõdus osakeste otsene jõudmine vere-ringesse ja mõju südame-veresoonkonnale. On oluline veel märkida, et käsitletavatel haigustel on väga harva vaid üks kindel põhjus. Pigem on tegu pikaajalise kompleksse mõjuga, kus õhusaaste on osa mitmetest mõjuritest ja mõjutab elanike tervist nendega koostoimes.



Joonis 1. Potentsiaalsed patofüsioloogilised seosed õhusaaste (üli)peente osakeste ekspositsiooni ning kardiopulmonaarse haigestumuse ja suremuse vahel (Brook jt., 2009 põhjal).

Olenevalt individuaalsest eripärast (eeskätt varem põetud haigused ja vanus) võib õhusaastest tulenev risk olla erinev. Vanurid ja isikud, kel on kroonilised (südame- ja veresoonkonna) haigused nagu astma, on kõige tundlikumaks grupiks. Tundlikud on ka lapsed ja vastsündinud; samuti inimesed, kes puutuvad tööalaselt kokku kõrgete saasteainete sisaldustega, näiteks autojuhid, energeetikaettevõte töölised jne. Nendel võivad tervisemõjud ilmneda ka siis, kui enamik rahvastikust seda ei tunneta.

2.1. Ülipeente osakeste tervisemõju Eestis

Eestis on viimastel aastatel viidud läbi mitmeid uuringuid, kus on hinnatud (üli)peente osakestega kokkupuudet ja nende tervisemõju.

Uuringutes „Välisõhu kvaliteedi mõju inimeste tervisele – peentest osakestest tuleneva mõju hindamine kogu Eesti lõikes I–III“ leiti, et ülipeened osakesed välisõhus põhjustasid 2010. a. Eestis hinnanguliselt keskmiselt 600 (95 % usalduspiirid CI=155–1 061) varajast surma aastas. See tegi kokku 8 312 (95 % CI=2234–14 608) kaotatud eluaastat aastas ning keskmine oodatava eluea kaotus elaniku kohta oli ligi 5 kuud. Suurim oli oodatava eluea langus suuremates linnades nagu Tallinn, Tartu, Narva, Pärnu ja Kohtla-Järve ning mõnevõrra kõrgem ka Ida-Virumaal üldiselt (Orru jt., 2009a, 2011b, Kesanurm jt., 2014). Johtuvalt üle-Euroopalise uuringu andmetest, on ülipeente osakeste mõju suurusjärgu võrra suurem kui maapinnalähedase osooni mõju (Orru jt., 2013).

Peamisteks peente osakeste õhusaaste allikateks on liiklus (nii heitgaasid, kui ka teekatte ja rehvide kulumisel tekkivad peened osakesed) ning olmekütmine (eeskätt ahiküte) (Orru jt., 2008, 2010; Loosaar jt., 2008; Teinemaa ja Saare, 2009; Maasikmets jt., 2012; Eller jt., 2012). Suurte keskkütte katlamajade ja tööstusettevõtete roll on üldiselt väike, küll Ida-Virumaal suurem (Orru jt., 2009c; Maasikmets jt., 2013). Kohapeal tekkinud saastele lisandub teistest piirkondadest ja riikidest tulev õhusaaste (Orru jt., 2010; Laan jt., 2014).

Epidemioloogilistes uuringutes on näidatud seos liiklusest tulenevate peente osakeste ja südamehaiguste vahel (Orru jt., 2009b) ning hiljem ka suurem haigestumise risk elamisel suure liiklustiheduse teede lähedal (Pindus ja Orru, 2011). Samas „Hingamisteed ja tervis“ kohordis on Tartus näidatud seoseid ka ahiküttest tuleneva peente osakeste saaste ning hingamisteede kaebuste vahel (Orru jt., 2011b). Hiljutine peente osakeste aegridade uuring Tallinnas näitas, et õhusaasteepisoodide (eriti kõrge saastetasemega päevade) järgselt on suremus mõnevõrra kõrgem kui teistel päevadel (Läll jt., 2013). Õhusaasteepisoodide teket mõjutavad omakorda ilmastikutingimused (Helstein jt., 2012). Kuigi enamik uuringuid on keskendunud välisõhu kvaliteedile, näitas hiljutine uurimus, et välisõhu kvaliteet mõjutab Eestis ka siseõhu kvaliteeti (Orru jt., 2014). Seoses Euroopa Liidu kliimavaldkonna eesmärkide ja majade parema isoleerimisega on siseõhu kvaliteedi tagamine muutumas aga järjest olulisemaks ning inimesed veedavad enamuse ajast siseruumides.

Kokkuvõttes võib tõdeda, et Eesti läbiviidud uuringud on näidanud, et (üli)peente osakeste õhusaaste omab olulist mõju ka Eesti elanikele tervisele ning seetõttu on sellega seotud probleemid väga olulised ning neid tuleks vähendada.

3. Metoodika

Tervisemõju hindamiseks koguti andmed rahvastiku, suremuse, ülipeente osakeste õhusaaste ekspositsiooni ja selle riskitasemete kohta. Lähtuti rahvusvaheliselt tunnustatud ja eelnevalt kasutatud metoodilistest põhimõtetest (näiteks Orru jt., 2009a).

3.1. Rahvastiku ja rahvastikusündmuste andmed

Rahvastikuandmete teadasaamiseks tehti käesolevas uuringus päring Statistikaametile 2011. aasta rahva ja eluruumide loendus andmestiku väljavõtte saamiseks elanike arvu kohta üle Eesti ruudustikus 1x1 km. Eeltoodud andmetele tuginedes jagati elanikud asustusüksuste (valdade ja linnade) kaupa klastritesse, et täpsemalt defineerida nende riskitase ning selgitada välja suurima riskiga piirkonnad – nii suhteliselt kui absoluutselt.

Praeguse suremuse iseloomustamiseks kasutati 2011. a andmeid kogusuremuse (RHK-10 koodid A00-Y98) kohta erinevates asustusüksustes, milleks tehti samuti päring Statistikaametile.

3.2. Ekspositsioon ülipeentele osakestele

Ülipeente osakeste ekspositsioonina kasutati modelleeritud ülipeente osakeste ($PM_{2,5}$) sisaldusi. Modelleerimisruudustikuna kasutati sama 1x1 km ruudustikku, mis oli aluseks 2011. aasta rahva ja eluruumide loenduse andmestikule. Õhusaastetasemete modelleerimiseks kasutati AirViro tarkvara, mis on välja töötatud Rootsi Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi poolt. Modelleerimised viis läbi Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ (Maasikmets ja Laasma, 2014).

Modelleerimise esimeses etapis modelleeriti johtuvalt praegustest (baasaasta 2012) emisioonidest ülipeente osakeste aastakeskmised sisaldused eraldi kuues valdkonnas: *transport, kohtküte, kaugküte, muu lokaalküte, elektri tootmine ja põlevkiviõli tootmine*.

Transpordi ja põlevkiviõli tootmise puhul oli aastaks 2030 valitud kolm stsenaariumi:

(1) Mittesekkuv (transpordisektoris energiatõhusust ei seata, 25 milj t põlevkivi kasutamine õlitootmiseks);
(2) Vähesekkuv (transpordisektoris osaline energiatõhususpakett, 20 milj t põlevkivi kasutamine õlitootmiseks);
(3) Sekkuv ehk teadmistepõhine (transpordisektoris täismahus energiatõhususpakett, 15 milj t põlevkivi kasutamine õlitootmiseks).

Soojamajanduse (*kohtküte, kaugküte, muu lokaalküte*) puhul oli niisamuti välja valitud kolm stsenaariumi:

(1) Kaugküte (praeguse riigipoolse regulatsiooni jätkumine);

(2) Reaalne (aktiivne riigipoolne sekkumine energiamajanduse efektiivsuse tõstmiseks);

(3) Energiaühistud (riigi panustamine teadmistepõhisesse majandusse).

Elektritootmise puhul analüüsiti aga kokku viit stsenaariumi:

(1) Liberaalne (majanduslikult kõige otstarbekam);

(2) Liberaalne+ (elektrienergiaga varustamine tagatud ka N-1-1 häiringu korral);

(3) Taastuvenergia (taastuvenergia osakaalu järk-järguline suurendamine);

(4) Taastuvenergia++ (tugevalt taastuvenergiale rõhuv);

(5) Põlevkivi ja Uttegaas (minnakse järk-järgult üle põlevkivist vaid põlevkiviõli tootmisele ja uttegaasi kasutamisele elektritootmises).

Iga valdkonna puhul valiti kõige suurema ja kõige väiksema ülipeente osakeste emissiooni muutustega stsenaarium aastaks 2030 ning viidi läbi õhusaastetasemete modelleerimine (Maasikmets ja Laasma, 2014).

Elanike ekspositsioon hinnati asustusüksuste (valdade ja linnade) kaupa. Ekspositsiooni hindamiseks leiti selle asustusüksuse (rahvastikule) kaalutud keskmine ülipeente osakeste sisaldus ja kõigile antud üksuse elanikele omistati üksuse keskmine saasteaine kontsentratsioon. Keskmise sisalduse leidmiseks kasutati antud töö käigus läbi viidud ülipeente osakeste aastakeskmiste sisalduse modelleerimise andmeid. Hinnangusse kaasati vaid vähemalt 30-aastased täiskasvanud, mis johtub aluseks olevate riskitasemete uuringute (WHO, 2013b; Jerret jt., 2005) eeldustest (ptk. 3.3). Selle alusel võib väita, et antud vanusest nooremad isikud ei ole piisavalt kaua püsivale õhusaastele eksponeeritud olnud, et negatiivsed pikaajalised mõjud avalduda saaksid. Teemakaartide väärtusvahemike leidmiseks kasutati "Jenks'i Natural Breaks" ehk loomulike vahemike algoritmi. See algoritm leiab vahemikud nii, et vahemike vaheline varieeruvus oleks maksimaalne ja väärtusvahemiku sisene varieeruvus minimaalne.

3.3. Elanikkonna riskitasemete määramine ülipeente osakeste suhtes

Pikaajalise ülipeente osakeste õhusaastest tuleneva riskina on paljudes suuremates õhusaaste tervisemõju hinnangutes kasutatud Pope et al. (2002) poolt publitseeritud Ameerika Vähihingu uuringu tulemusi, mis on olnud aluseks ka üle-Eestilisele uuringule: „Välisõhu kvaliteedi mõju inimeste tervisele – peentest osakestest tuleneva mõju hindamine kogu Eesti lõikes I–III“ (Orru jt., 2009a, 2011b, Kesanurm jt., 2014). Pope jt.

(2002) uuringus leiti, et $PM_{2,5}$ sisalduse kasvul 10 µg/m^3 suureneb üldsuremus üle 30-aastaste elanike seas 6 % (95 % CI 2–11). Sellist seost kasutatakse õhusaaste tervisemõjude hinnangutes ekspositsiooni ja toime funktsioonina (ptk. 3.4). Hiljutises WHO HRAPIE projektis (WHO, 2013b) soovitati mõjude hindamisel kasutada kokku 13 erineval kohortuuringu meta-analüüsil põhinevat ekspositsiooni ja toime funktsiooni (Hoek et al, 2013). Samas antud uus suhteline risk 1,062 (95 % CI 1,040–1,083) 10 µg/m^3 $PM_{2,5}$ kohta on äärmiselt sarnane Pope jt. (2002) uuringu riskile.

Teisalt põlemisel tekkivate toksilisemate saasteainete mõju hindamiseks (nagu energiasektorist johtuvad osakesed) võiks eelnevalt viidatud ekspositsiooni ja toime funktsioonid olla liiga väikesed (WHO, 2013a). Hetkel läbiviidavas peente osakeste õhusaaste tervisemõju uuringus Rootsis (Gustafsson jt., 2014) on teadlased rakendanud heitgaaside ja põlemisosakeste puhul suhtelist riski Jerret jt. (2005) poolt avaldatud uuringust Californiast, kus tõenäoliselt tänu liikluse suuremale osakaalule ning paremale õhusaaste ekspositsiooni andmestikule oli suhteline risk saasteühiku kohta oluliselt suurem: 1,17 (95 % CI 1,05–1,30) 10 µg/m^3 $PM_{2,5}$ kohta. Antud uuringus võib suurema riskisuhtega tehtud hinnangut lugeda põhihinnanguks ning tundlikkus-analüüs tehti madalama riskisuhtega.

3.4. Ülipeente osakestega kokkupuutest tulenevate varajaste surmade juhtude ning kaotatud eluaastate ja oodatava eluea lühenemise arvutamine

Juhtumite arvutamiseks kasutati järgnevat valemit :

$$\Delta Y = (Y_O \times pop) \times (e^{\beta \times X} - 1),$$

kus Y_0 on algne suremus; *pop* eksponeeritute hulk; β ekspositsiooni ja toime funktsioon (relatiivne risk saasteühiku kohta) ning X arvatav saasteaine ekspositsioon (kontsentratsioon). Juhtumid arvutati absoluutarvuna eri asustusüksustes üle 30-aastastel elanikel.

Kaotatud eluaastate ja oodatava eluea lühenemise arvutamiseks kasutati nn elutabelite meetodit. Selles võrreldakse tegelikku oodatavat eluiga hüpoteetilise oodatava eluaega, mis on seotud õhukvaliteedi muutusega. Maailma Terviseorganisatsioon on välja töötanud tarkvara AirQ 2.2.3. (Õhukvaliteedi Tervisemõju Hindamise Vahend), mis võimaldab leida õhusaastest põhjustatud suremusest tingitud kaotatud eluaastaid ning oodatava eluea lühenemist erinevates vanusgruppides (WHO, 2004). Tulemused esitati 95 % usaldusvahemikuga (CI).

Antud meetodi puhul kasutati samu riski hinnanguid kui juhtumite arvutamisel, kuid täiendavalt oli vaja teada vanuselist jaotumust ning suremuskordajaid eri vanusgruppides. Kaotatud eluaastad ja eluea lühenemine arvutati vaid suuremates üksustes (Tabel 4–5).

4. Tulemused

4.1. Rahvastik ja rahvastikusündmused

Kokku määratleti uuringualal 1 325 217 elanikku, kellest üle 30-aastaseid oli 858 703 (Tabel 1). Elanikest oli linnainimesi 63 % ning kui nendele liita ka vallasiseste linnade elanikud, siis oli linnainimesi kokku 67 %. Samal perioodil oli Eestis üle 30-aastaste hulgas 15 122 surmajuhtu, millest 67 % esines linnainimeste seas.

Elanikest kõige suurem osa (43 %) elas Harjumaal, kellest omakorda pea kolmveerand Tallinnas. Samas surmadest juhtus Harjumaal 35 % ning Tallinnas 27 %. Teistest piirkondadest oli suurema elanike ja surmajuhtude arvuga Tartumaa ja Ida-Virumaa. Täpsemad andmed rahvastiku ja rahvastikusündmuste kohta kõigis asustusüksustes on toodud www.energiatalgud.ee.

Tabel 1. Elanike ning surmade arv Eesti eri piirkondades 2011. aastal

	Koguelanike arv	S.h üle 30-aastaseid	Surmade arv	Surmade arv üle 30-aastate hulgas
Kogu Eesti	1 325 217	858 703	15 450	15 122
Linnad	844 361	541 846	9 673	9 514
Linnad, s.h vallasisesed linnad	890 203	573 714	10 408	10 240
Vallad	480 856	316 857	5 777	5 608
Maa-asulad, ilma vallasiseste linnadeta	435 014	285 202	4 606	4 457
Harjumaa	566 741	359 840	5 463	5 282
..Tallinn	403 862	258 680	4 187	4 087
Hiiumaa	8 620	5 921	106	106
Ida-Virumaa	153 716	107 774	2 356	2 087
Jõgevamaa	31 967	21 527	484	477
Järvamaa	31 204	20 703	434	319
Läänemaa	24 734	16 859	311	288
Lääne-Virumaa	61 154	40 179	775	626
Põlvamaa	28 026	18 970	420	381
Pärnumaa	84 388	55 533	1 084	975
Raplamaa	35 503	23 140	403	269
Saaremaa	31 835	21 502	404	397
Tartumaa	153 479	90 475	1 531	1 508
Valgamaa	31 068	21 101	491	451
Viljandimaa	48 604	32 379	654	595
Võrumaa	34 178	22 800	534	497

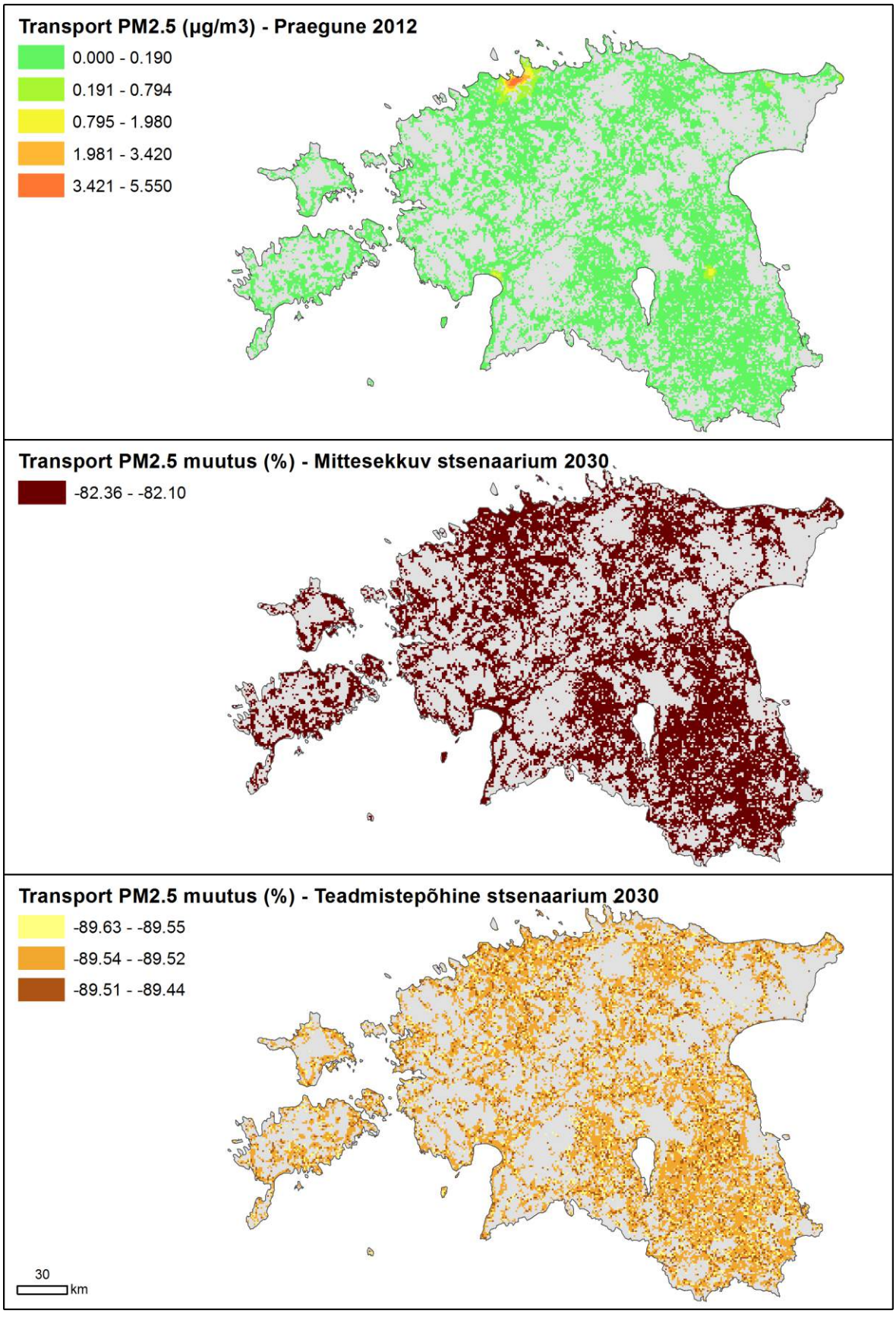
4.2. Ülipeente osakeste sisaldus Eestis

Modelleerimise tulemusena saadi energiasektori tekitatud ülipeente osakeste aasta-keskmised sisaldused erinevates valdkondades üle terve Eestis võrguna 1x1 km (Joonised 2–7). Modelleerimistulemuste põhjal 1x1 km ruudustikus arvutati ülipeente osakeste aastakeskmine sisaldus kõigis Eesti asustusüksustes. Sellel on eristunud kõrgema sisaldusega linnad nagu Tallinn ja Tartu ning Kirde-Eesti ja idapoolsem Kesk-Eesti (täpsemad sisaldused asustusüksustes (valdades ja linnades) on nähtavad www.energiatalgud.ee).

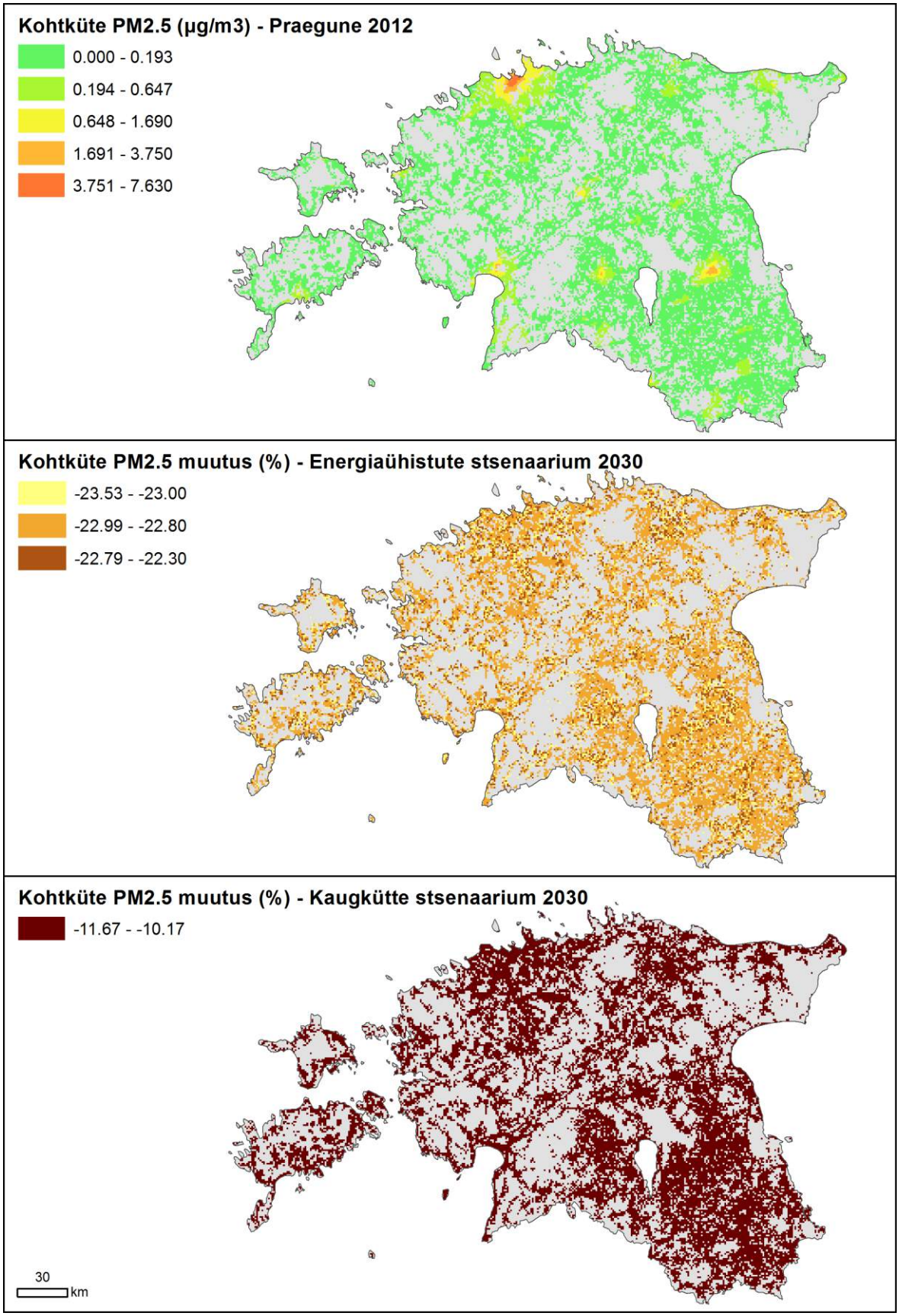
Valdkondadest on üle-Eestiliselt suurima ülipeente osakeste sisaldusega *kohtküte* (1,38 µg/m^3), millele järgneb transport (1,01 µg/m^3). Suuremates linnades, nagu Tallinn ja Tartu on antud sisaldused veel oluliselt kõrgemad (Tabel 2). Ülipeente osakeste ekspositsioonis annab üsna olulise osa lisaks *muu lokaalküte* (keskmiselt 0,33 µg/m^3) ning *kaugküttega* koos moodustab *soojamajandus* 62 % kogueksposition. *Elektri tootmise* ekspositsioon ja *põlevkiviõli tootmise* $PM_{2.5}$ ekspositsioon on üle-Eestiliselt nendega võrreldes üsna madal: vastavalt 0,33 µg/m^3 ja 0,02 µg/m^3 (Tabel 2). Küll kontsentreerub antud saaste peamiselt Ida-Virumaale, kus $PM_{2.5}$ ekspositsioonid on vastavalt 0,69 µg/m^3 ja 0,15 µg/m^3.

Tabel 2. Ülipeente osakeste ($PM_{2.5}$) aastakeskmine sisaldus (µg/m^3) Eestis, linnade ja valdade keskmisena ning Tallinnas, Tartus ja Ida-Virumaal praegusel hetkel aastal 2012 ning suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral aastal 2030

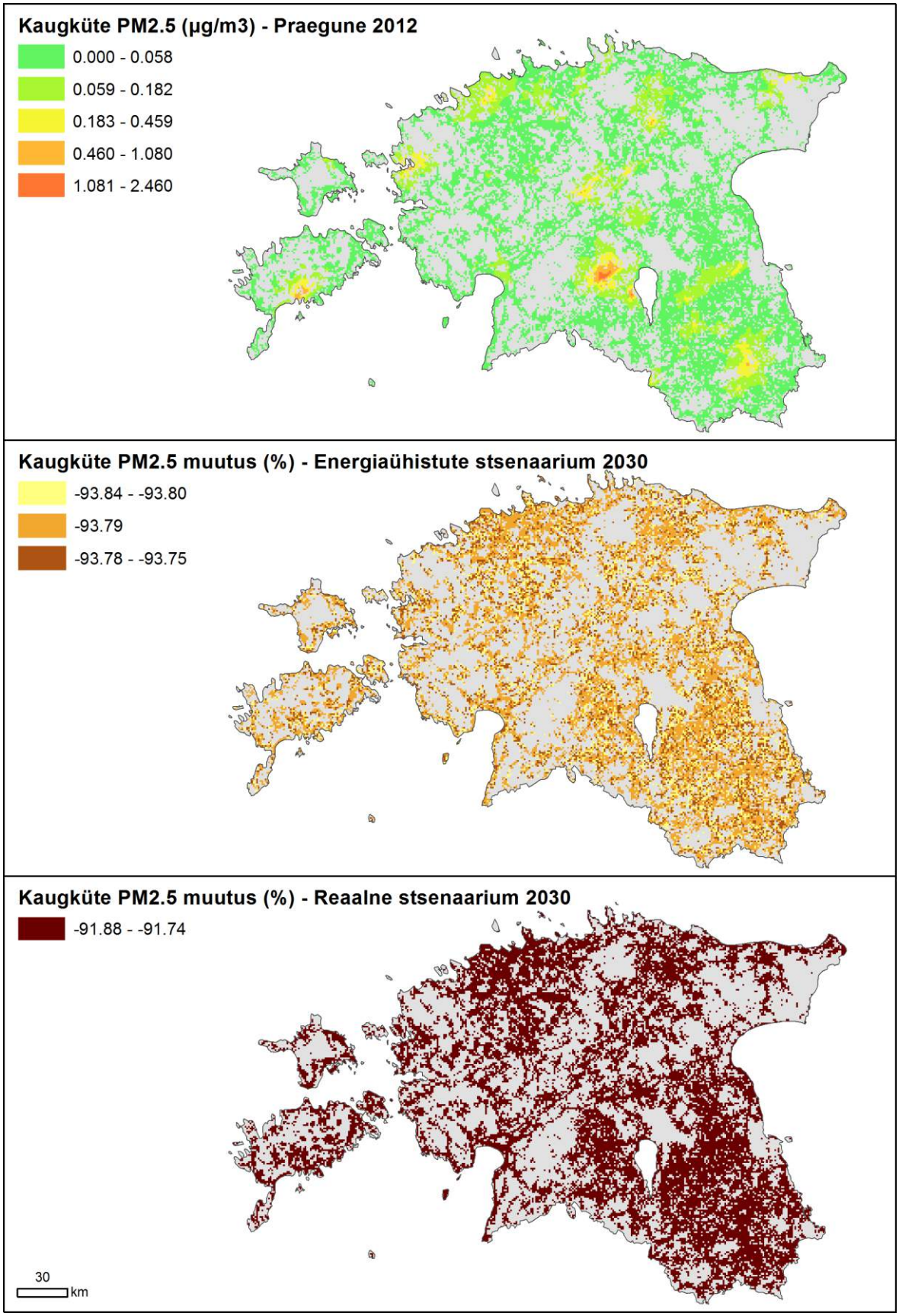
	Transport			Soojamajandus												Elektri tootmine			Põlevkiviõli tootmine		
				Kohtküte			Kaugküte			Muu lokaalküte			Soojam. kokku								
	Praegune	Mittesekkuv stsenaarium	Teadmistepõhine stsenaarium	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Kaugkütte stsenaarium	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Reaalne stsenaarium	Praegune	Kaugkütte stsenaarium	Reaalne stsenaarium	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Kaugkütte stsenaarium	Praegune	Taastuvenergia ++ stsenaarium	Põlevkivi ja uttegaasi stsenaarium	Praegune	Mittesekkuv stsenaarium	Sekkuv stsenaarium
Kogu Eesti	1,01	0,18	0,11	1,38	1,06	1,22	0,11	0,01	0,01	0,33	0,31	0,26	1,81	1,33	1,54	0,09	0,004	0,003	0,02	0,06	0,05
Linnad	1,51	0,27	0,16	1,96	1,51	1,74	0,12	0,01	0,01	0,35	0,33	0,28	2,43	1,80	2,08	0,13	0,006	0,005	0,03	0,08	0,06
S.h vallas. linnad	1,43	0,25	0,15	1,87	1,44	1,66	0,12	0,01	0,01	0,34	0,32	0,27	2,33	1,72	1,99	0,12	0,006	0,005	0,02	0,08	0,06
Vallad	0,04	0,01	0,00	0,17	0,13	0,15	0,05	0,00	0,00	0,13	0,12	0,10	0,35	0,24	0,28	0,01	0,001	0,001	0,01	0,02	0,02
Maa-asulad	0,04	0,01	0,00	0,16	0,12	0,14	0,04	0,00	0,00	0,12	0,12	0,10	0,33	0,23	0,26	0,01	0,001	0,001	0,01	0,02	0,02
Tallinn	2,93	0,52	0,31	3,43	2,64	3,05	0,06	0,00	0,01	0,37	0,34	0,30	3,86	2,95	3,40	<0,01	<0,001	<0,001	0,00	0,00	0,00
Tartu	0,82	0,15	0,09	1,91	1,47	1,70	0,14	0,01	0,01	0,17	0,16	0,14	2,21	1,62	1,87	<0,01	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
Ida-Virumaa	0,20	0,04	0,02	0,31	0,24	0,28	0,05	0,00	0,00	0,11	0,10	0,09	0,47	0,33	0,38	0,691	0,034	0,026	0,15	0,36	0,47


Transport PM2.5 (µg/m3) - Praegune 2012
0.000 - 0.190
0.191 - 0.794
0.795 - 1.980
1.981 - 3.420
3.421 - 5.550
Transport PM2.5 muutus (%) - Mittesekkuv stsenaarium 2030
-82.36 - -82.10
Transport PM2.5 muutus (%) - Teadmistepõhine stsenaarium 2030
-89.63 - -89.55
-89.54 - -89.52
-89.51 - -89.44
30
km

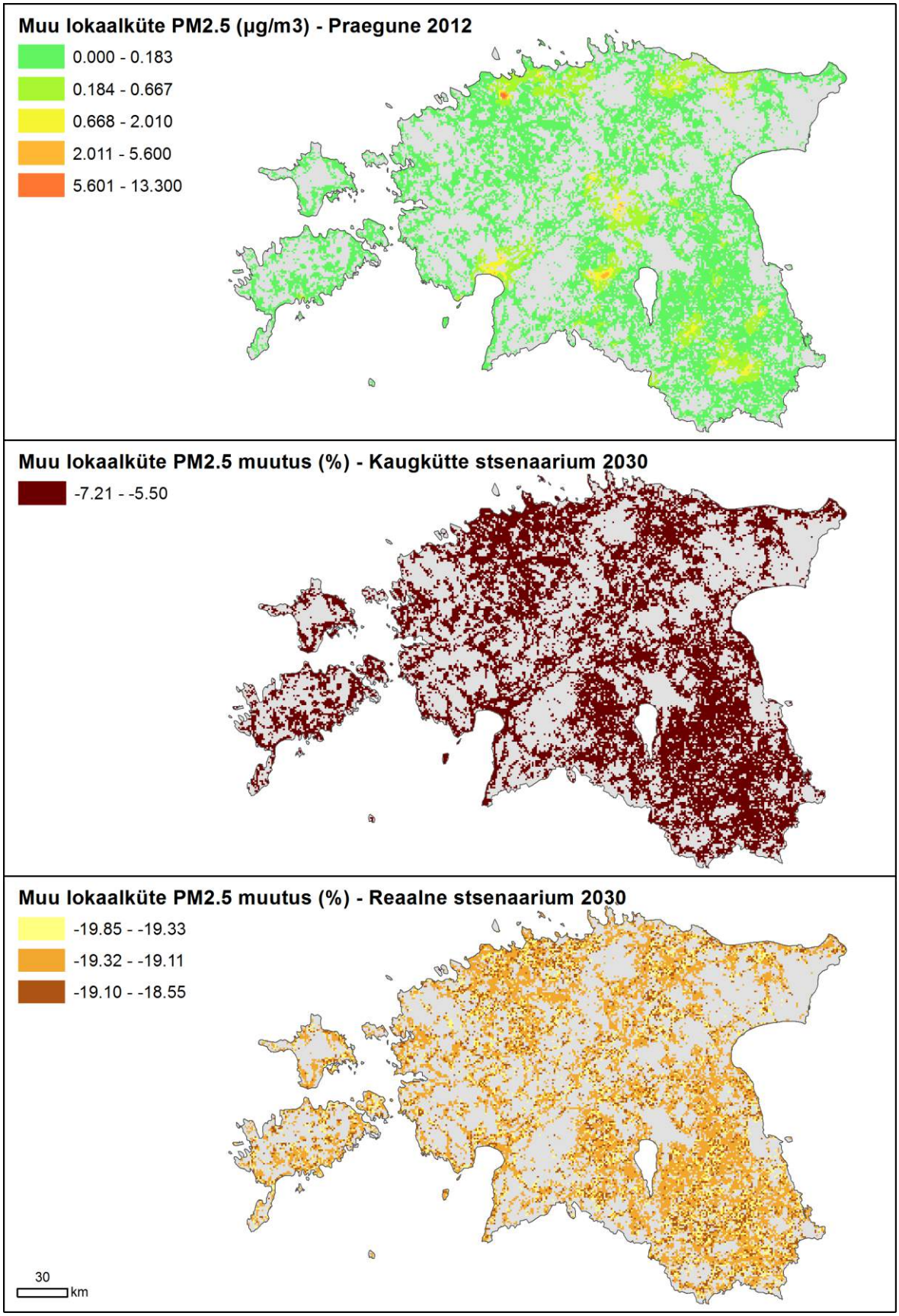
Joonis 2. Transpordisektori tekitatud ülipeente osakeste modelleeritud sisaldus (1x1 km) välisõhus aastal 2012 ning muutus suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral aastal 2030.



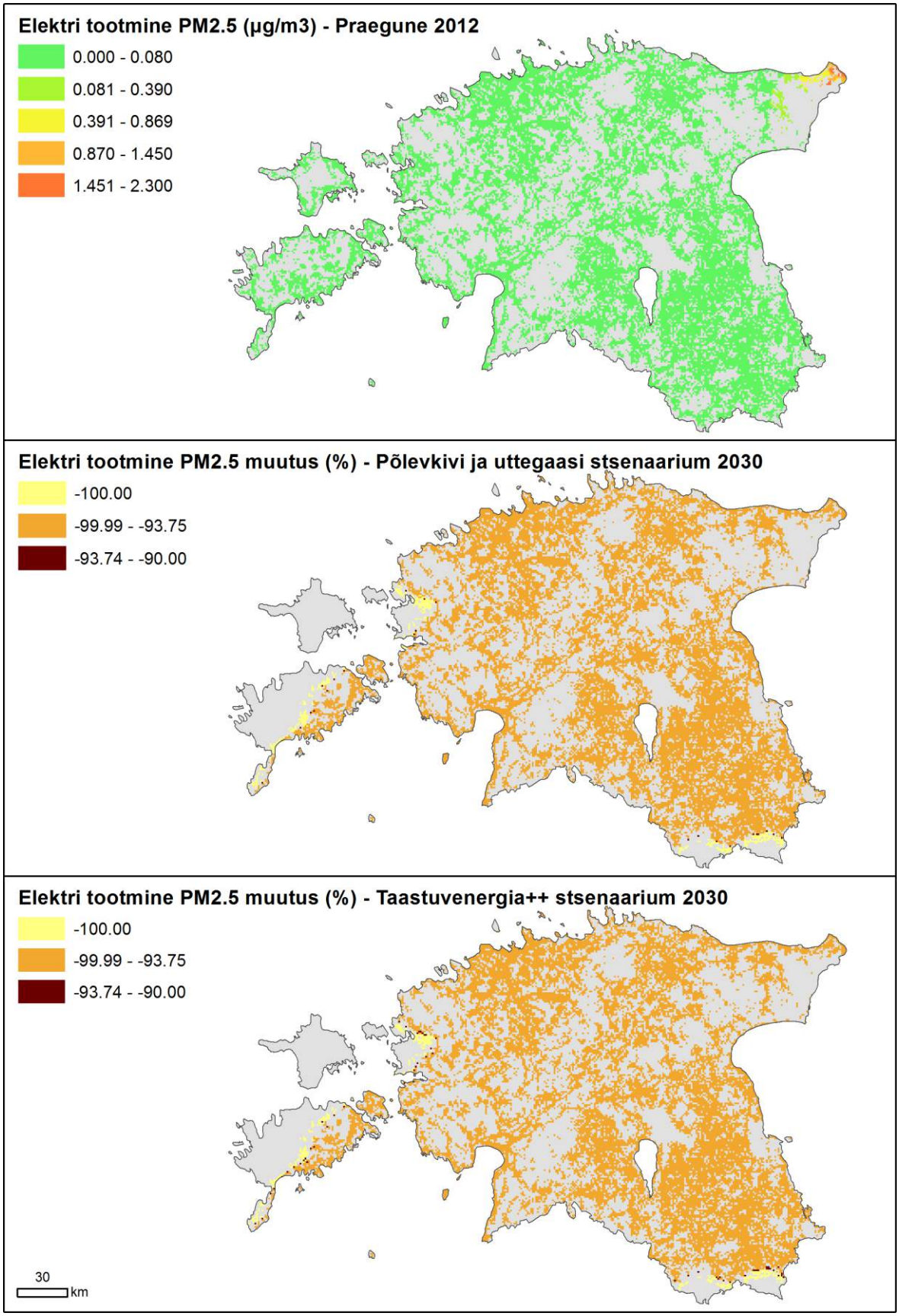
Joonis 3. Kohtkütte tekitatud ülipeente osakeste modelleeritud sisaldus (1x1 km) välisõhus aastal 2012 ning muutus suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral aastal 2030.



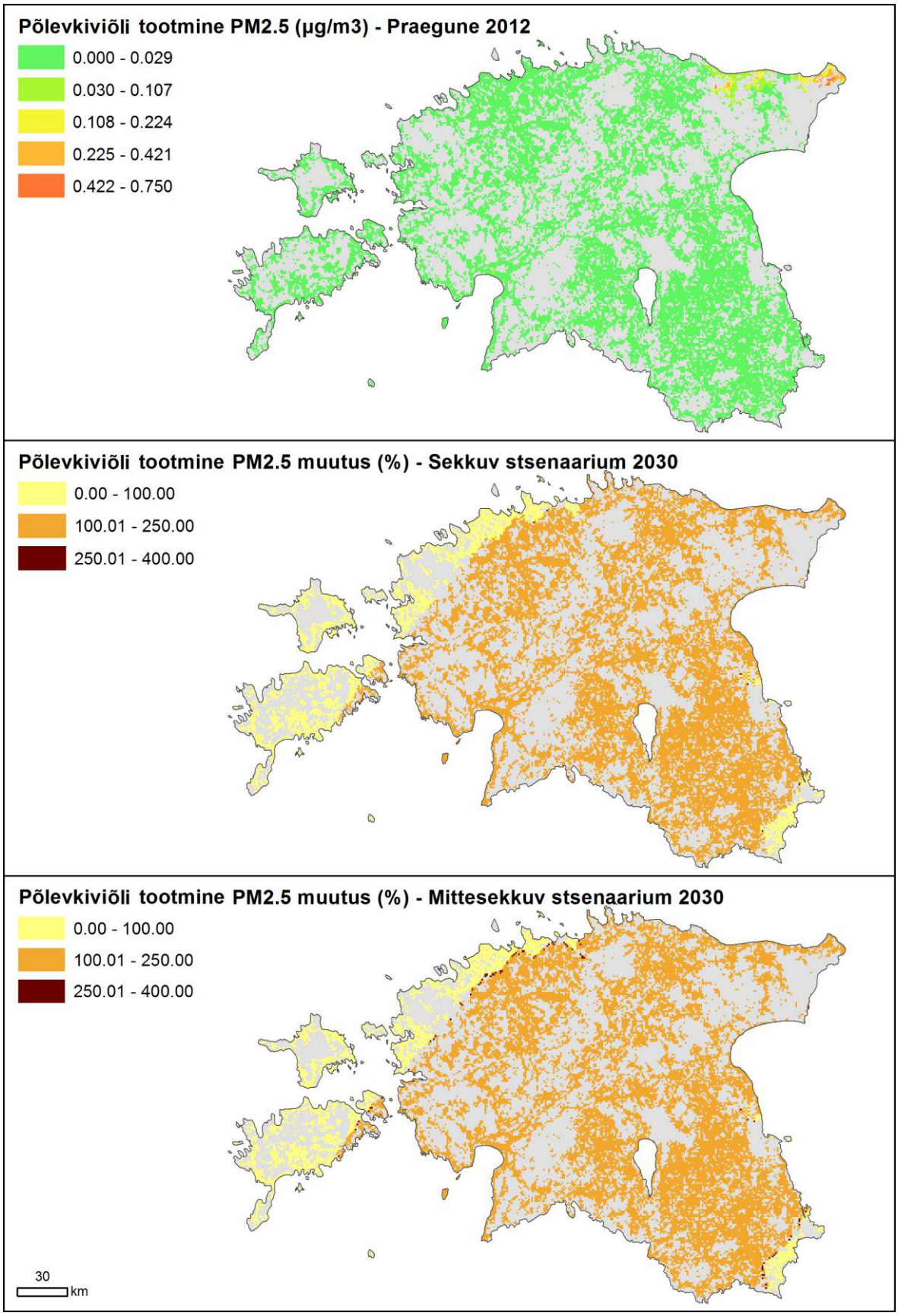
Joonis 4. Kaugkütte tekitatud ülipeente osakeste modelleeritud sisaldus (1x1 km) välisõhus aastal 2012 ning muutus suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral aastal 2030.



Joonis 5. Muu lokaalkütte tekitatud ülipeente osakeste modelleeritud sisaldus (1x1 km) välisõhus aastal 2012 ning suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral aastal 2030.



Joonis 6. Elektri tootmise tekitatud ülipeente osakeste modelleeritud sisaldus (1x1 km) välisõhus aastal 2012 ning suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral aastal 2030.



Joonis 7. Põlevkiviõli tootmise ja kasutamise tekitatud ülipeente osakeste modelleeritud sisaldus (1x1 km) välisõhus aastal 2012 ning suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral aastal 2030.

Kui vaadata erinevaid stsenaariume aastaks 2030, siis kõikidel juhtudel peale *põlevkiviõli tootmise* on näha ülipeente osakeste sisalduse vähenemist (Joonised 2–7). Osadel juhtudel nagu *elektritootmine*, ja *kaugküte* on vähenemine enam kui 90 % ning *transpordi* puhul olenevalt stsenaariumist 76–87%. Samas teatud valdkondades nagu *kohtküte* ja *muu lokaalküte* on vähenemine vaid 6–23 %. Kuna ekspositsioon *kohtküte* ja *muu lokaalkütte* puhul on suur ja vähenemine väike, siis halvima stsenaariumi puhul moodustab *soojamajandus* aastal 2030 85 % kogu ülipeente osakeste ekspositsioonist. *Põlevkiviõli tootmise* puhul on näha olulist kasvu, mille tulemusena võib see anda tulevikus Ida-Virumaal üle poole kogueksponitsioonist. Samas väiksema *soojamajanduse* osakaalu tõttu on ülipeente osakeste kogueksponitsioon nii praegu kui tulevikus Ida-Virumaal väiksem kui Eesti keskmiselt.

Kui vaadata täpsemalt stsenaariume, siis reeglina on paremad sekkuvad stsenaariumid, nagu *transpordi* puhul teadmistepõhine, *soojamajanduses* energiaühistute stsenaarium, *elektritootmises* taastuvenergia++ stsenaarium ja *põlevkiviõli tootmisel* annab niisamuti väikseima suurenemise sekkuv stsenaarium.

4.3. Ülipeentele osakestele põhjustatud varajane suremus, kaotatud eluaastad ja oodatava eluea lühenemine

Kokku põhjustas antud uuringu alusel kogu energiamajanduse sektori õhusaaste 2012. aastal 582,7 (95 % CI 117,8–1215,0) varajast surma aastas (Tabel 3). Samas parima stsenaariumi korral oleks neid juhte aastaks 2030 võimalik vähendada pea poole võrra: 312,0 (95 % CI 61,1–631,7) juhuni. Valdkondadest olid suurima mõjuga *soojamajandus* ning *transport*, kusjuures esimese osatähtsus võib aastaks 2030 veelgi suureneda (Tabel 3, Joonised 8–13). Valdav osa varajaste surma juhtudest on tekitatud linnades, mis on tingitud nii üldisest suuremast saastetasemest, kui ka linnaelanike suuremast osakaalust rahvastikus. Näiteks *transpordi* puhul on üle poole ning *kohtkütte* puhul pool juhtudest ilmnenud just Tallinnas (Tabel 3) ning aastaks 2030 Tallinna osatähtsus antud valdkondades veelgi suureneb (Joonised 8–9, Tabel 3). Kui enamikes valdkondades on näha tervisemõjude vähenemist, siis *põlevkiviõli tootmise* puhul näeme hoopis tervisemõjude suurenemist aastaks 2030 ja seda peamiselt Ida-Virumaa, kuid see pole siiski nii suur, kui *elektri-toomisest* saadav tervisemõjude vähenemine (Tabel 3).

Tabel 3. Ülipeente osakeste põhjustatud aastakeskmine varajaste surmade arv Eestis, linnade ja valdade keskmisena ning Tallinnas, Tartus ja Ida-Virumaal praegusel hetkel aastal 2012 ning suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral aastal 2030

	Transport			Soojamajandus														Elektri tootmine			Põlevkiviõli tootmine		
				Kohtküte			Kaugküte			Muu lokaalküte			Soojam. kokku											
	Praegune	Mittesekkuv stsenaarium	Teadmistepõhine stsenaarium	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Kaugkütte stsenaarium	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Reaalne stsenaarium	Praegune	Kaugkütte stsenaarium	Reaalne stsenaarium	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Kaugkütte stsenaarium	Praegune	Taastuvenergia ++ stsenaarium	Põlevkivi ja uttegaasi stsenaarium	Praegune	Mittesekkuv stsenaarium	Sekkuv stsenaarium
Kogu Eesti	201,8	54,3	30,2	260,2	210	236,8	23,9	1,5	2,0	72,1	67,7	58,8	321,2	253,9	284,4	20,2	1,0	0,8	4,5	13,8	10,7
Linnad	176,3	50,1	28,1	214,1	176,2	196,7	17,3	1,1	1,4	48,5	45,5	39,5	248,2	201,7	223,6	18,5	0,9	0,7	3,8	11,6	9
S.h valla-s. linnad	181,8	51,3	28,7	222,6	182,6	204,2	18,5	1,2	1,5	50,5	47,5	41,2	259,6	209,9	233,1	18,9	1,0	0,7	3,9	11,9	9,2
Vallad	3,7	0,9	0,5	14,5	11,2	12,9	4,3	0,3	0,4	10,6	9,9	8,6	28,4	19,8	22,7	1	0,1	0,0	0,6	1,8	1,4
Maa-asulad	2,6	0,6	0,3	10,5	8,2	9,4	2,9	0,2	0,2	8,2	7,7	6,7	21,1	14,9	17,0	0,8	<0,1	0,0	0,5	1,5	1,1
Tallinn	119,6	39,8	22,8	130,1	112,4	122,4	3,9	0,2	0,3	21,8	20,5	17,8	137,6	120,0	129,6	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tartu	11,2	2,9	1,6	22,2	18,2	20,3	2,0	0,1	0,2	2,5	2,3	2,0	14,0	10,1	11,6	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ida-Virumaa	6,3	1,6	0,9	9,5	7,4	8,5	1,6	0,1	0,1	3,5	3,2	2,8	24,6	19,6	21,8	19,9	1,1	0,8	4,7	14,0	11,0

Kui varajaste surmade juhud panna ümber kaotatud eluaastatesse, siis on see kokku 8886,0 (95 % CI 2751,2–15025,8) kaotatud eluaastat aastas (Tabel 4), mis teeb keskmiselt veidi enam kui 15 aastat ühe varajase surma juhu kohta. Samas kõigi elanike kohta keskmiselt on oodatava eluea lühenemine 0,52 (95 % CI 0,16–0,88) aastat (Tabel 5).

Kaotatud eluaastate ja oodatava eluea lühenemise poolest on suurima mõjuga jällegi *soojamajandus* ja *transport*. Nii väheneb üle-Eestiliselt *soojamajanduse* tõttu oodatav eluiga 0,31 (95 % CI 0,09–0,52) aasta ning *transpordi* tõttu 0,18 (9 5% CI 0,06–0,30) aasta võrra (Tabel 5). Ka nende näitajate poolest on *elektri* ja *põlevkiviõli* tootmise mõju üle-Eestiliselt väike, olles samas kontsentreerunud Ida-Virumaale, kus see annab praegusel hetkel 56 % kaotatud eluaastatest ning aastaks 2030 võiks see halvima stsenaariumi korral suureneda 59 %-ni (Tabel 4). Ent kogu Eesti energiasektori tervisekaost põhjustaks see siiski vaid 8 % (Tabel 4). Suurim mõju on *koht-* ja *muul lokaalküttel*, mis Tallinnas ja Tartus kokku võiksid anda tulevikus kuni kolmveerand kogu Eesti energiasektori tervisekaost. Seega suurima kasu võiks saada vähendades *soojamajanduse* mõju suuremates linnades.

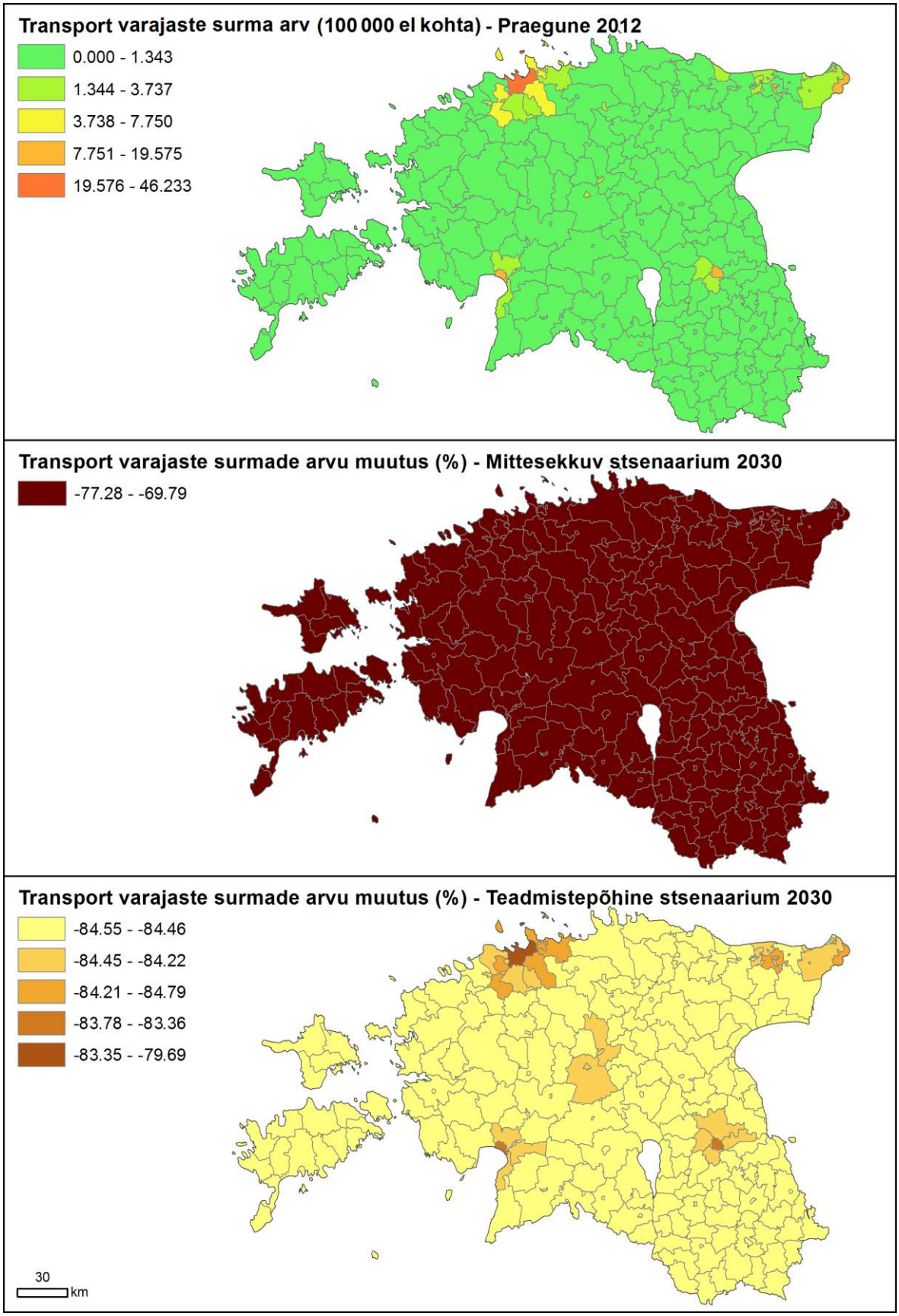
Tabel 4. Ülipeente osakeste põhjustatud kaotatud eluaastate arv aastas Eestis, linnade ja valdade keskmisena ning Tallinnas, Tartus ja Ida-Virumaal praegusel hetkel aastal 2012 ning suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral aastal 2030

	Transport			Soojamajandus												Elektri tootmine			Põlevkiviõli tootmine		
				Kohtküte			Kaugküte			Muu lokaalküte			Soojam. kokku								
	Praegune	Mittesekkuv stsenaarium	Teadmistepõhine stsenaarium	Praegune	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Kaugkütte stsenaarium	Energiaühistute stsenaarium	Reaalne stsenaarium	Praegune	Kaugkütte stsenaarium	Reaalne stsenaarium	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Kaugkütte stsenaarium	Praegune	Taastuvenergia ++ stsenaarium	Põlevkivi ja uttegaasi stsenaarium	Praegune	Mittesekkuv stsenaarium	Sekkuv stsenaarium
Kogu Eesti	3053	729	417	4171	3204	3687	333	30	30	997	937	786	5471	4020	4654	272	12	10	60	181	150
Linnad	2852	681	379	3702	2852	3287	227	19	19	661	623	529	4590	3400	3929	246	11	9	57	151	113
S.h valla-s. linnad	2894	691	381	3785	2915	3360	243	20	20	688	648	547	4716	3482	4028	243	12	10	50	162	121
Vallad	40	13	<1	169	129	149	50	<1	<1	129	119	99	348	238	278	10	1	1	10	20	20
Maa-asulad	34	11	<1	137	100	120	34	<1	<1	100	100	86	283	192	223	9	1	1	9	18	18
Tallinn	2552	599	336	2988	2299	2656	52	<1	9	322	296	261	3363	2569	2961	26	<1	<1	<1	<1	<1
Tartu	173	42	23	404	311	360	30	2	2	36	34	30	467	343	396	2	<1	<1	<1	<1	<1
Ida-Virumaa	84	23	10	131	101	118	20	<1	<1	46	42	38	199	139	160	291	14	11	63	152	198

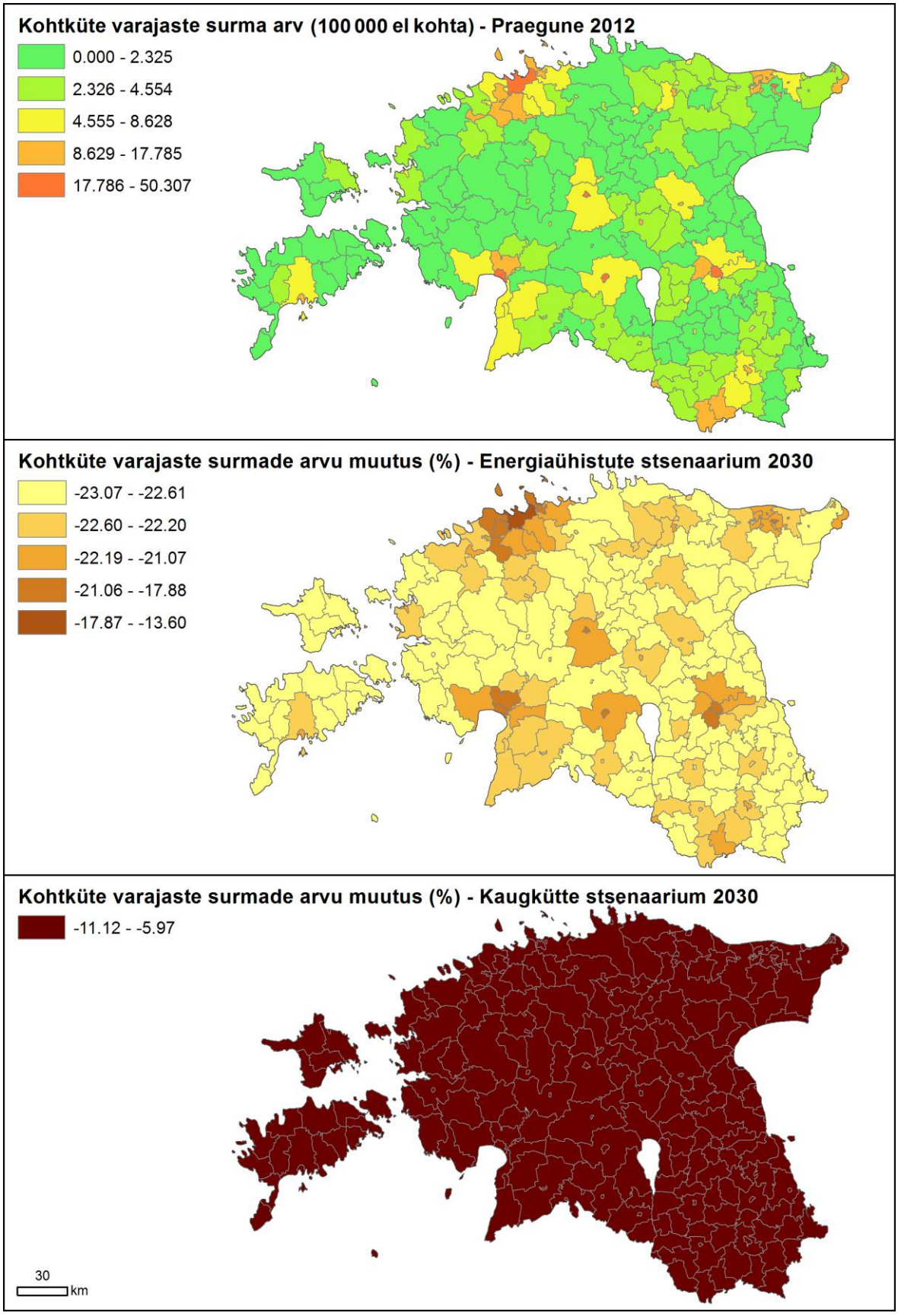
Tabel 5. Ülipeente osakeste põhjustatud oodatava eluea lühenemine (aastat) Eestis, linnade ja valdade keskmisena ning Tallinnas, Tartus ja Ida-Virumaal praegusel hetkel aastal 2012 ning suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral aastal 2030

	Transport			Soojamajandus												Elektri tootmine			Põlevkiviõli tootmine		
				Kohtküte			Kaugküte			Muu lokaalküte			Soojam. kokku								
	Praegune	Mittesekkuv stsenaarium	Teadmistepõhine stsenaarium	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Kaugkütte stsenaarium	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Reaalne stsenaarium	Praegune	Kaugkütte stsenaarium	Reaalne stsenaarium	Praegune	Energiaühistute stsenaarium	Kaugkütte stsenaarium	Praegune	Taastuvenergia ++ stsenaarium	Põlevkivi ja uttegaasi stsenaarium	Praegune	Mittesekkuv stsenaarium	Sekkuv stsenaarium
Kogu Eesti	0,18	0,04	0,02	0,24	0,19	0,22	0,02	<0,01	<0,01	0,06	0,05	0,05	0,31	0,24	0,28	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01
Linnad	0,27	0,07	0,04	0,35	0,27	0,31	0,02	<0,01	<0,01	0,06	0,06	0,05	0,43	0,32	0,37	0,02	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01
S.h valla-s. linnad	0,25	0,05	0,03	0,33	0,26	0,3	0,02	<0,01	<0,01	0,06	0,06	0,05	0,41	0,31	0,36	0,02	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01
Vallad	0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02	0,02	0,06	0,04	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Maa-asulad	0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,03	0,02	0,06	0,04	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tallinn	0,54	0,13	0,07	0,63	0,48	0,56	0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,06	0,05	0,71	0,54	0,62	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tartu	0,16	0,04	0,02	0,37	0,28	0,33	0,03	<0,01	<0,01	0,03	0,03	0,03	0,43	0,31	0,36	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ida-Virumaa	0,04	<0,01	<0,01	0,05	0,04	0,05	0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02	0,02	0,08	0,06	0,07	0,12	0,01	0,005	0,03	0,06	0,08

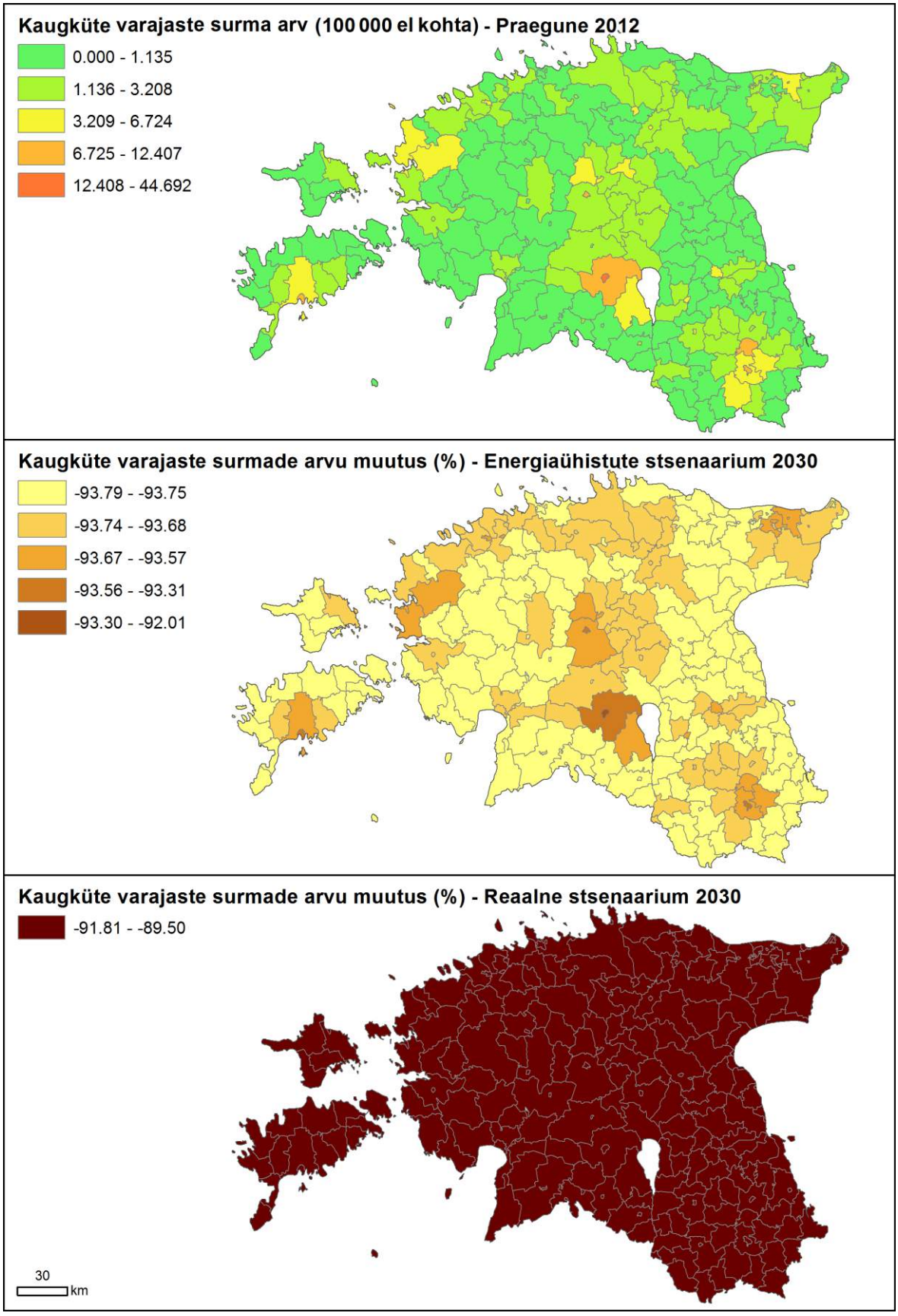
Kui võrrelda erinevaid stsenaariume, siis on jällegi suurema tervisemõjude vähenemisega sekkuvad stsenaariumid, nagu *transpordi* puhul teadmistepõhine, *soojamajanduses* energiaühistute stsenaarium, *elektritootmises* taastuvenergia++ stsenaarium ja *põlevkiviõli tootmisel* annab niisamuti väikseima suurenemise sekkuv stsenaarium. Vahed suurima ja väikseima stsenaariumi vahel on enamikel juhtudel visuaalselt ilmselged (Joonised 8–11); küll ei tule see välja *elektritootmise* ja *põlevkiviõli tootmise* puhul (Joonised 12–13). Kui vaadata muutuse suurust, siis *transpordi* puhul on tervisemõjude vähenemine olenevalt stsenaariumist 73–85 % (olles küll olulisema mõjuga suuremates linnades mõnevõrra väiksem) ning *kaugkütte* ja *elektritootmise* puhul mõlema stsenaariumi korral üle 90 % – samas reaalsed vahed stsenaariumide vahel on väikesed. Ent *kohtkütte* ja *muu lokaalkütte* puhul oli enamikes piirkondades vähenemine vaid 10–20 % ning halvima stsenaariumi puhul alla 10 %. Nagu eelnevalt mainitud, on *koht-* ja *lokaalküttel* juba praegu väga oluline mõju ning 2030. aastaks võiks see proportsionaalselt veelgi suureneda.



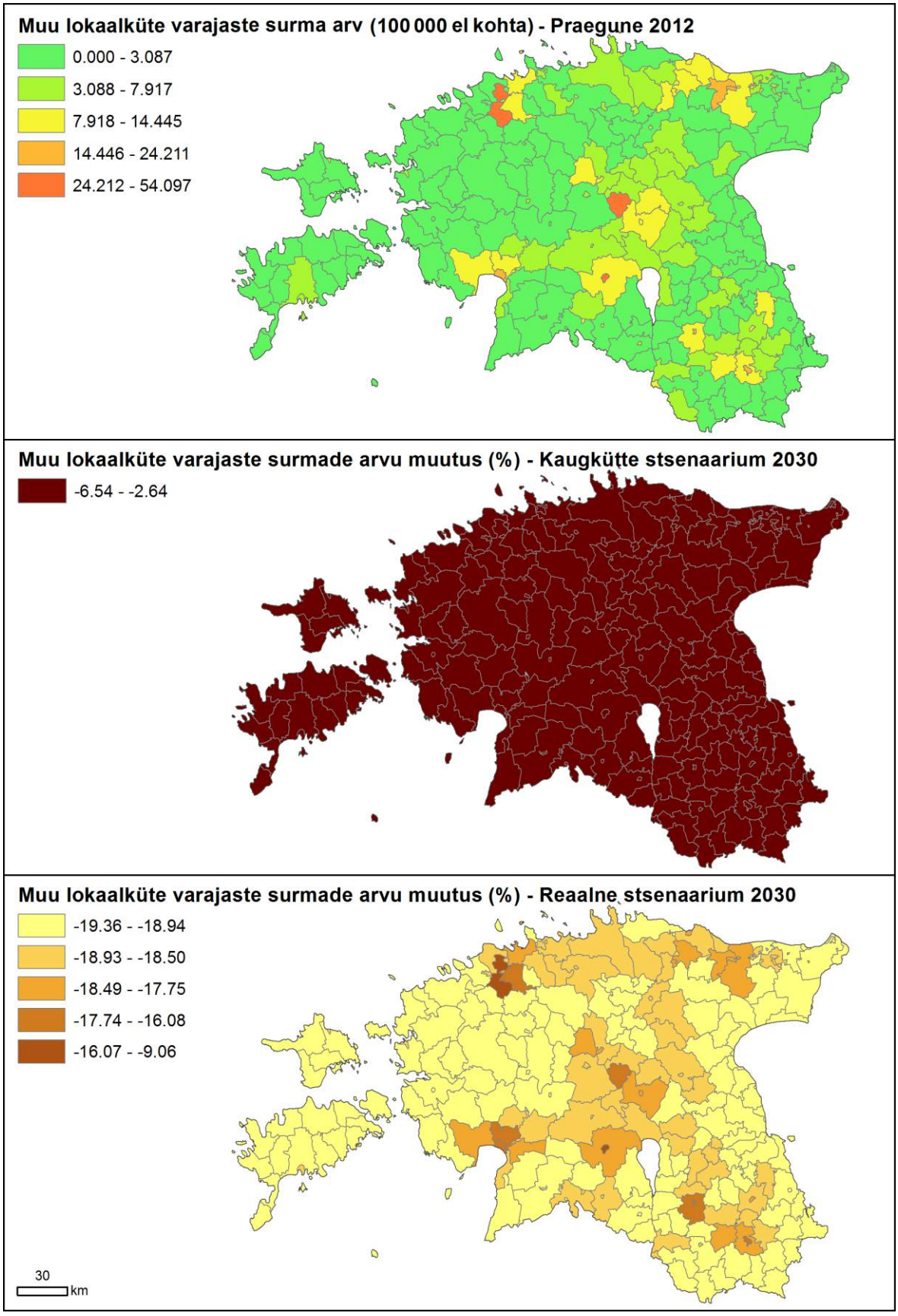
Joonis 8. Transpordi kasutamise ülipeente osakeste õhusaaste põhjustatud varajaste surmade arv aastas 2012. aastal ning muutus (%) suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral 2030. aastaks võrreldes eelneva perioodiga.



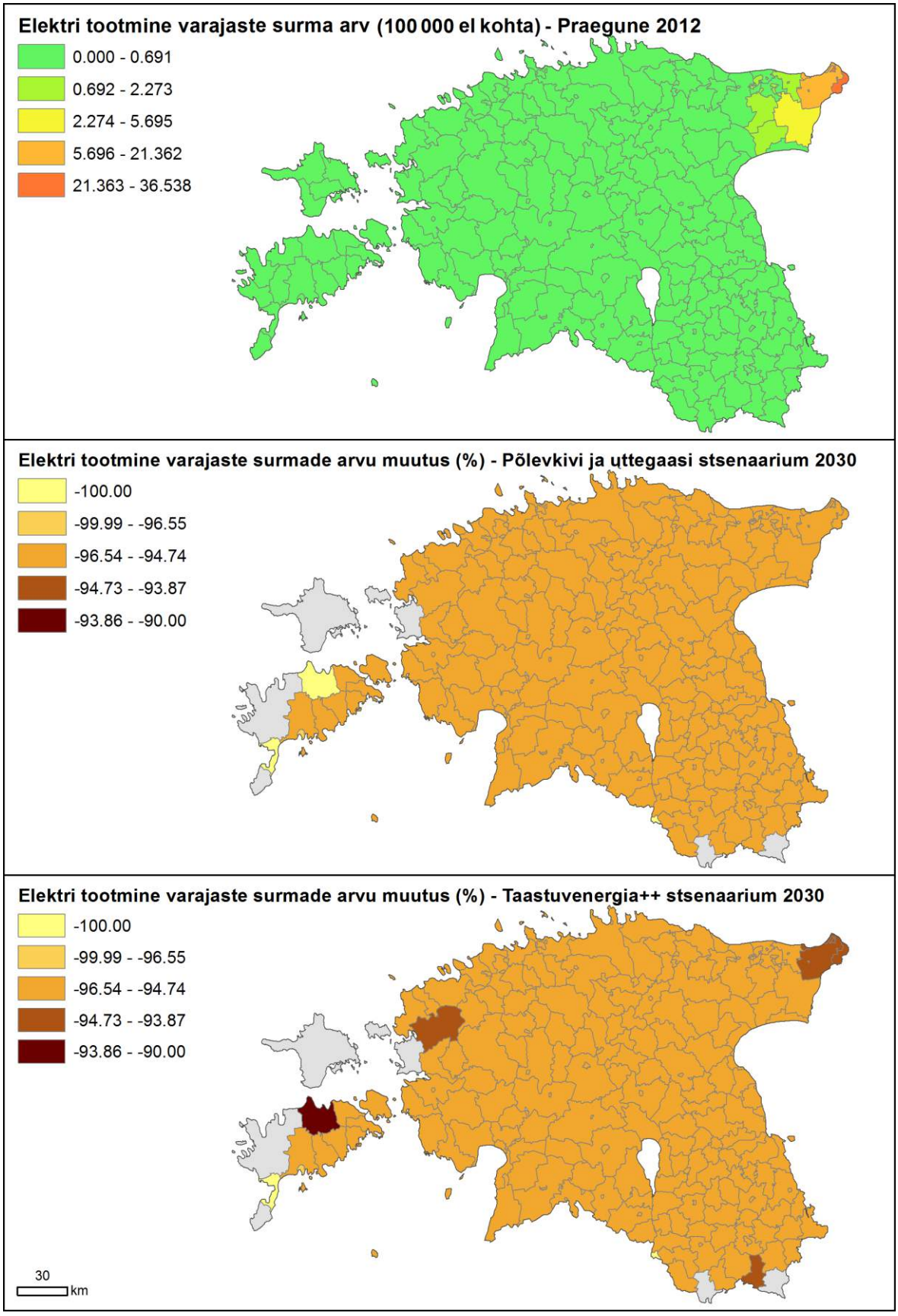
Joonis 9. Kohtkütte ülipeente osakeste õhusaaste põhjustatud varajaste surmade arv aastas 2012. aastal ning muutus (%) suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral 2030. aastaks võrreldes eelneva perioodiga.



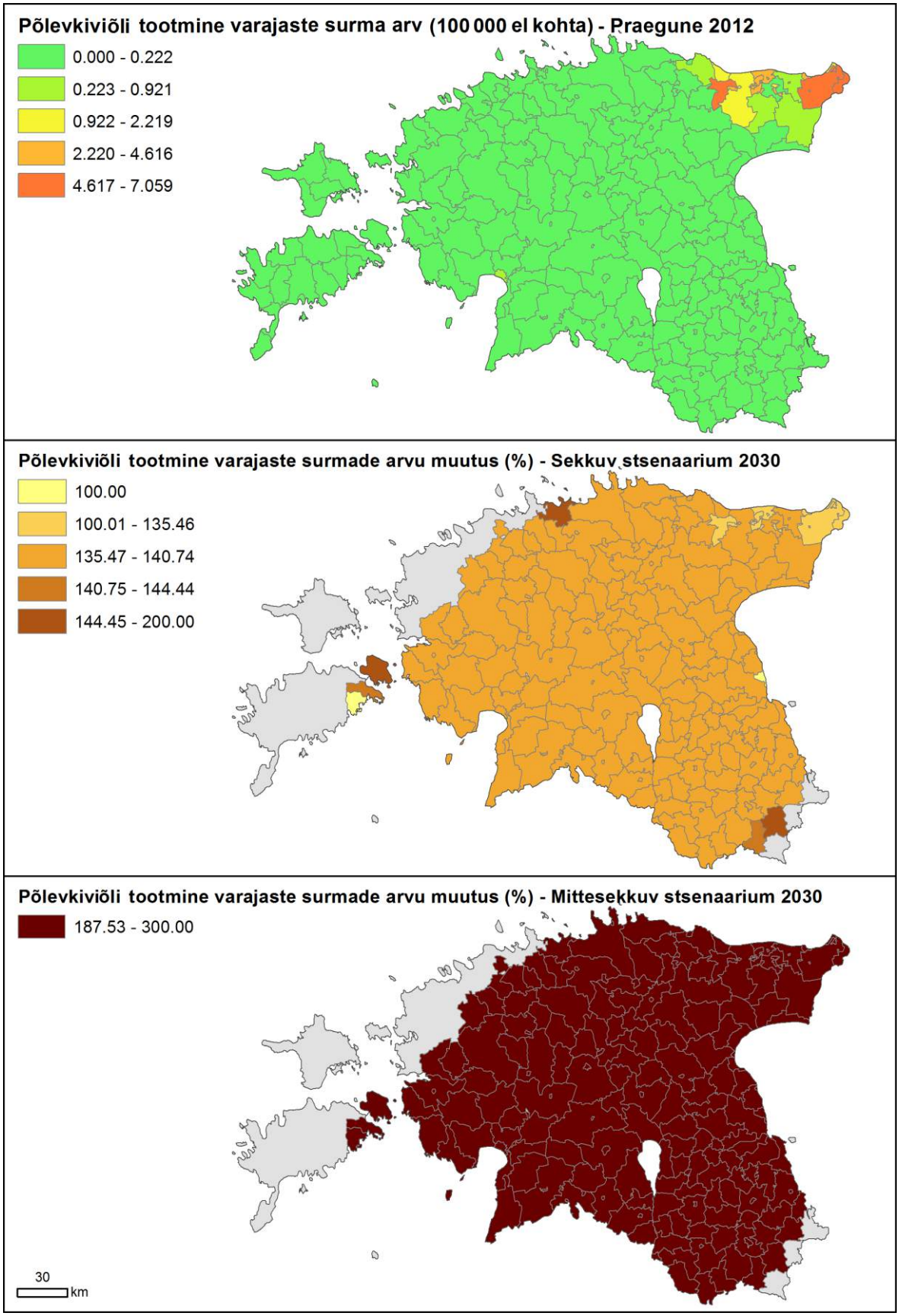
Joonis 10. Kaugkütte ülipeente osakeste õhusaaste põhjustatud varajaste surmade arv aastas 2012. aastal ning muutus (%) suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral 2030. aastaks võrreldes eelneva perioodiga.



Joonis 11. Muu lokaalkütte ülipeente osakeste õhusaaste põhjustatud varajaste surmade arv aastas 2012. aastal ning muutus (%) suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral 2030. aastaks võrreldes eelneva perioodiga.



Joonis 12. Elektri tootmise ülipeente osakeste õhusaaste põhjustatud varajaste surmade arv aastas 2012. aastal ning muutus (%) suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral 2030. aastaks võrreldes eelneva perioodiga.



Joonis 13. Põlevkiviõli tootmise ülipeente osakeste õhusaaste põhjustatud varajaste surmade arv aastas 2012. aastal ning muutus (%) suurima ja vähima mõjuga stsenaariumi korral 2030. aastaks võrreldes eelneva perioodiga.

5. Arutelu

Energiasektorist tulenev õhusaaste mõjutab kõigi Eesti elanike tervist ja elukvaliteeti. Uuring keskendus ülipeentele osakestele kui kõige probleemsematele saasteainetele välisõhus. Õhusaaste tervisemõjude uuringutes on ülipeeneid osakesi laialdaselt kasutatud õhusaaste ekspositsiooni indikaatorina (ülevaade WHO, 2013a) ja seega saab sellist lähenemist lugeda usaldusväärseks.

Energiasektori õhusaaste pärineb peamiselt põlemisprotsessidest ning ülipeente osakestega on seotud mitmeid toksilisi ühendeid nagu polüaromaatsed süsivesinikud (PAHid) ning õhus on samaaegselt leitud ka toksilist heksaklorobenseeni (Maasikmets ja Laasma, 2014). Uusima teadmise kohaselt (WHO, 2013a) loetakse põlemisel tekkivaid primaarseid osakesi eriti toksiliseks ning arvatakse, et neil puudub toime-lävi (on igas kontsentratsioonis kahjulikud). Nii rakendati antud mõju hinnangus sarnaselt Rootsi viimasele mõju hinnagule (Gustafsson jt., 2014) selliste ülipeente osakeste tervisemõju hindamiseks kõrgemat riskikoefitsienti kui eelnevates üle-Eestilises hinnangus „Välisõhu kvaliteedi mõju inimeste tervisele – peentest osakestest tuleneva mõju hindamine kogu Eesti lõikes“. Samas kokkuvõttes võib antud hinnangu 583 (95 % CI 118–1215) ja eelneva hinnangu 600 (95 % CI=155–1061) varajase surma juhtu aastas, pidada väga sarnasteks. Veebikeskkonnas www.energiatalgud.ee on tundlikkusanalüüsi raames toodud välja ka mõju hinnang madalama riskikoefitsiendiga, kuid selline hinnang tõenäoliselt alahindab tegelikku mõju.

Erinevatest teguritest on käesolevas uuringus tõenäoliselt kõige enam tulemusi mõjutanud õhusaaste modelleerimine ja selle täpsus. Kuigi emissiooniandmete kvaliteet ja AirViro süsteemi toimimine on aja jooksul paranenud, võib mudel ikkagi olenevalt emissiooniandmete kvaliteedist ja lokaalsetest hajumistingimustest teatud piirkondades saastetasemeid üle- või alahinnata (näiteks oluliselt kõrgem kohtkütte mõju Tallinnas kui Tartus). Seega saab saadud tulemusi pidada keskmiseks hinnanguks ning tegelikult hinnangud võivad varieeruda leitud usaldusvahemikus.

Antud uuringus on tervisemõju aastal 2030 hinnatud 2011. aasta rahvastiku- ja suremusandmeid kasutades. Kasutades konstantseid andmeid rahvastikusündmuste kohta on võimalik näidata just saasteemissioonide mõju tervisele. Samas tegelik tervisemõju aastal 2030 võib olla hoopis erinev, kuna muutunud on nii rahvastiku arv kui nende suremuse näitajad. Niisamuti võivad tegelikke näitajaid mõjutada reaalselt kasutusele võetud tehnoloogiad aastal 2030 – stsenaariumide puhul on tegemist eeldustega, millised

tehnoloogiad võiks realiseeruda – tegelikult realiseerunud poliitikad võivad olla aga teised. Lisaks on transpordi puhul arvestatud vaid autode heitgaasidega, kuid teatava (küll oluliselt väiksem) negatiivne tervisemõju on ka teetolmul (Meister jt., 2012). Lisaks ei ole antud uuringus arvestatud mõjudega, mis tulenevad halvenenud siseõhu kvaliteedist (näiteks *kohtkütte* mõju) ja mõjudega, mis tulenevad energiasektori töökeskkonnast.

Käesoleva uuringu oluliseks tugevuseks on see, et hinnatud on mõjusid Eesti elanikele – milliseid koguseid saasteaineid Eesti energiasektor õhku paiskab, kui suur osa sellest jõuab Eesti inimesteni ja selle kaudu millist tervisemõju see tekitab. Samas kui mõne teise lähenemise (näiteks SimaPro) puhul leitakse küll Eesti energiasektori heitmete mõju, kuid mitte vaid Eesti elanikele (suur osa saastest hajub tuhandete kilomeetrite kaugusele ning enamus tervisemõjudest ilmneb hoopis kuskil mujal) (ÅF-Consulting, 2014). See tingib ka erinevuse, mis ühel või teisel juhul on teatud valdkonnad olulisema tervisemõjuga: näiteks elektrijaamade kõrgetest korstnatest tulevast saastest jõuab vaid suhteliselt väike osa Eesti elanikeni, samas kui kohtkütte puhul enamus.

Üldiselt võib Eesti õhukvaliteeti üldiselt pidada suhteliseks heaks (saasteainete tase jääb allapoole Eesti ja Euroopa Liidu poolt seatud piirväärtuseid, Saare jt., 2014). Niisamuti jääb ka antud uuringus modelleeritud ülipeente osakeste kogusisaldus (kui arvestada kõik allikad kokku: soojamajandus, transport, elektri ja põlevkiviõli tootmine, joonised 2–7) allapoole Eestis kehtivat aastakeskmist piirväärtust 25 $\mu g/m^3$ (Keskkonnaministri 08.07.2011. a määruse nr 43 „Välisõhu saastatuse taseme piir- ja sihtväärtused, saasteaine sisalduse muud piirnormid ning nende saavutamise tähtajad" lisa 2). Samas ilmnevad ka sellise suhteliselt puhta õhu puhul ikkagi olulised tervisemõjud, kuna põlemisel tekkivatel ülipeentel osakestel puudub toime-lävi, s.t nad on igas sisalduses kahjulikud. Tekkiv mõju on võrreldav või isegi suurem mõjust Rootsi elanikele – johtuvalt viimasest hinnangust vähendasid 2010. aastal peamiselt transpordist ja kohtküttest johtuv õhusaaste seal oodatavat eluiga keskmiselt kolmandiku aasta võrra (Gustafsson jt., 2014), samas kui Eestis on see pool aastat.

6. Kokkuvõte

Energiamajanduse sektor tekitab olulisel hulgal õhusaastet, millest olulisimad on põlemisel tekkivad ülipeened osakesed. Kokku põhjustasid need 2012. aastal hinnanguliselt 583 (95 % CI 118–1215) varajast surma. Varajaste surmade kõrgendatud riskigruppi kuuluvad eeskätt eakad ning hingamisteede, südame- ja veresoonkonna või mõnda muud haigust põdevad inimesed, kes tänu kõrgele õhusaaste tasemele võivad elada enam kui 15 aastat vähem. Samas keskmine oodatava eluea vähenemine energiasektori ülipeente osakeste õhusaaste tõttu on veidi enam kui pool aastat.

Erinevate tehnoloogiliste meetmetega oleks parimate stsenaariumide kombinatsiooniga neid negatiivseid tervisemõjusid võimalik vähendada aastaks 2030 veidi vähem kui poole võrra. „Euroopa puhta õhu programmi" eesmärk on aga veelgi ambitsioonikam: vähendada aastaks 2030 võrreldes 2005. aastaga mõjusid tervisele 52 %. Lisaks on vähenemine erinevates valdkondades väga erinev: kui *elektri tootmise* ja *kaugkütte* puhul on eeldatav vähenemine suurusjärgus 90 %, siis *koht- ja muu lokaalkütte* puhul vaid 6–23 %. Aastaks 2030 antud kahe valdkonna osatähtsus ülipeente osakeste tervisemõjude tekkes veelgi suureneb, ulatudes halvimal juhul kuni 88 %.

Erinevused eri stsenaariumide vahel on kohati üsna väikesed (näiteks *elektri tootmine*), kuid kohati ka üsna suured (näiteks *kohtküte*). Seega valdkondades, kus vähenemine on suur, ei ole stsenaarium valik nii oluline, kuid väiksema vähenemisega stsenaariumide korral on erinevused olulised. Üldiselt väiksema tervisemõju andsid sekkuvad enam stsenaariumid.

Vastupidiselt vähenemisega enamikes valdkondades, suureneb *põlevkiviõli tootmise* laienemisega sealt johtuv õhusaaste ning kasvab tervisemõju. Samas *elektri tootmisel* põlevkivi põletamise vähendamise tõttu saadav tervisemõju vähenemine on sellest suurem. Nii *põlevkiviõli* kui *elektri tootmise* tervisemõju on kontsentreerunud Ida-Virumaale, kus see moodustab valdava osa tervisemõjust.

Kokkuvõttes annab energiamajanduse sektor valdava osa ülipeente osakeste õhusaastest ning selle mõju Eesti elanikele on suuremates linnades ja Ida-Virumaal küllalt suur. Et seda vähendada, on oluline saavutada ENMAK2030+ seatavad eesmärgid ning soojamajanduse sektoris võiks eesmärgid olla veelgi ambitsioonikamad. Eesmärkide saavutamist tuleks jälgida – seirates nii saasteallikate heitemäärasid, vaadeldes laialdasemalt õhukvaliteeti kui ka viies perioodiliselt (näiteks 5. a tagant) läbi keskkonna- ja tervisemõjude hinnanguid.

7. Kasutatud kirjandus

ÅF-Consulting (2014). Eesti energiamajanduse pikaajalise arengukava aastani 2030 valdkondade stsenaariumidega kaasneva keskkonnamõju modelleerimine. ÅF-Consulting AS, Tallinn.

Ailshire, J. A.; Clarke, P. (2014). Fine Particulate Matter Air Pollution and Cognitive Function Among U.S. Older Adults. The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, doi: 10.1093/aje/kwu155.

Eller, M.; Mirme, S.; Mirme, A.; Kaasik, M.; Orru, H.; Teinemaa, E. (2012). Variations in concentrations of ultrafine particles and air ions in relation to meteorological conditions and levels of other pollutants in tartu, Estonia. In: 8th International Conference on Air Quality - Science and Application. Book of Abstracts: 8th International Conference on Air Quality - Science and Application, 19-23 Märts, Ateena, Kreeka. (Toim.) Singh, V.; Price, H.; Bartzis, J.; Sokhi, R. UK: University of Hertfordshire, 2012, 122.

Gustafsson, M.; Forsberg, B.; Orru, H.; Åström, S.; Tekie, H.; Sjöberg, K. (2014). Quantification of population exposure to NO_2, $PM_{2.5}$ and PM_{10} in Sweden 2010. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd, Göteborg.

Helstein, P.; Veber, T.; Orru, H. (2013). Peentolmu saastetasemed Tartus ja Tallinnas aastatel 2008-2012 ning nende sõltuvus ilmastikutingimustes. Merle Varik (Toim.). Tartu Tervishoiu Kõrgkooli Uurimistööde Kogumik VII (126–145).

Hoek, G.; Krishnan, R. M.; Beelen, R.; Peters, A.; Ostro, B.; Brunekreef, B.; Kaufman, J.D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. Environmental Health, 12, 43.

Jerrett, M.; Burnett, R.T.; Ma, R.; Pope III, C.A.; Krewski, D.; Newbold, K.B.; Thurston, G.; Shi, Y.; Finkelstein, N.; Calle, E.E.; Thun, M.J. (2005). Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. Epidemiology, 16, 1–10.

Kesanurm, K.; Teinemaa, E.; Kaasik, M.; Tamm, T.; Lai, T.; Orru, H. (2014). Country-wide health impact assessment of airborne particulate matter in Estonia. Steyn, Douw; Builtjes, Peter; Timmermans, Renske (Toim.). Air Pollution Modelling and its Application (47–51).Springer

Laan, B.; Komsaare, K.; Kaasik, M.; Hõrrak, U. (2014). Estimating the origin of background aerosol pollution in Estonia. In: Proceedings of Abstracts 9th International Conference on Air Quality Science and Application: 9th International Conference on Air Quality Science and Application Garmisch-Partenkirchen, 24-28 March 2014. (Toim.) Mitto, T.; Fallmann, J.; Mikolajczyk, U.; Suppan, P.; Singh, V.; Sokhi, R., 2014, 247.

Liu, C.; Ying, Z.; Harkema, J.; Sun, Q.; Rajagopalan, S. (2013). Epidemiological and experimental links between air pollution and type 2 diabetes. Toxicological Pathology, 41, 361–373.

Loosaar, J., Kask, Ü., Kask, L., Parve, T. & Link, S. (2008). Hinnang eramute kütmisest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste kohta Eestis. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn.

Läll, K.; Raag, M.; Orru, H. (2013). Particulate air pollution and mortality in Tallinn: A time-series analysis in North-Eastern. In: Environ Health Perspect: Conference of the International Society of Environmental Epidemiology (ISEE), the International Society of

Exposure Science (ISES), and the International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ), Basel, Switzerland, August 19–23, 2013.

Maasikmets, M.; Teinemaa, E.; Arumäe, T. (2012). Emission measurement of PM size distribution from road wear. In: European Aerosol Conference, 2012, Digital Abstract book and Conference Handbook: European Aerosol Conference, Granada, 2012.

Maasikmets, M.; Saare, K.; Arumäe, T.; Lehes, L.; Viidik, A.; Ebber, A. (2013). Linnade välisõhu kvaliteedi kompleksse hindamise analüüs. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

Maasikmets, M.; Laasma,T. (2014). Elektritootmise-, põlevkiviõli tootmise-, soojus-varustuse- ja transpordi energiakasutuse stsenaariumidega kaasnevate atmosfääri peenosakeste $PM_{2,5}$ ja muude õhusaasteainete leviku ning kasvuhoonegaaside tõttu õhukvaliteedi muutuste prognoosimine ajavahemikule 2012–2050. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

Meister, K.; Johansson, C.; Forsberg, B. (2012). Estimated Short-Term Effects of Coarse Particles on Daily Mortality in Stockholm, Sweden. Environmental Health Perspectives, 120, 431–436.

Orru, H.; Kaasik, M.; Antov, D.; Forsberg, B. (2008). Evolution of traffic flows and traffic-induced air pollution due to structural changes and development during 1993–2006 in Tartu (Estonia). The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 3, 206–216.

Orru, H.; Teinemaa, E.; Lai, T.; Tamm, T.; Kaasik, M.; Kimmel, V.; Kangur, K.; Merisalu, E.; Forsberg, B. (2009a). Health impact assessment of particulate pollution in Tallinn using fine spatial resolution and modelling techniques. Environmental Health, 8, 7.

Orru, H.; Jõgi, R.; Kaasik, M.; Forsberg, B. (2009b). Chronic Traffic-Induced PM Exposure and Self-Reported Respiratory and Cardiovascular Health in the RHINE Tartu Cohort. International Journal of Environmental Research and Public Health, 6, 2740–2751.

Orru, H.; Kaasik, M.; Merisalu, E.; Forsberg, B. (2009c). Health impact assessment in case of biofuel peat - co-use of environmental scenarios and exposure-response functions. Biomass & Bioenergy, 33, 1080–1086.

Orru, H.; Kimmel, V.; Kikas, Ü.; Soon, A.; Künzli, N.; Schins, R.; Borm, P.J.A.; Forsberg, B. (2010). Elemental Composition and Oxidative Properties of PM2.5 in Estonia in Relation of Origin of Air Masses - results from ERCHS II in Tartu. Science of the Total Environment, 408, 1515–1522.

Orru, H.; Maasikmets, M.; Lai, T.; Tamm, T.; Kaasik, M.; Kimmel, V.; Orru, K.; Merisalu, E.; Forsberg, B. (2011a). Health impacts of particulate matter in five major Estonian towns: main sources of exposure and local differences. Air Quality, Atmosphere & Health, 4, 247–258.

Orru, H.; Jõgi, R.; Maasikmets, M.; Kaasik, M.; Loot, A.; Kukk, E. (2011b). Effects of Chronic PM Exposure From Local Heating on Self-reported Respiratory and Cardiovascular Health in the RHINE Tartu Cohort. In: Epidemiology, 1, S225–S226.

Orru, H.; Andersson, C.; Ebi, K.L.; Langner, J.; Aström, C.; Forsberg, B. (2013). Impact of climate change on ozone-related mortality and morbidity in Europe. European Respiratory Journal, 41, 285–294.

Orru, H.; Mikola, A.; Upan, M.; Koiv, T.-A. (2014). Variation of indoor/outdoor particulates in Tallinn, Estonia – the role of ventilation, heating systems and life-style. Journal of Environment Pollution and Human Health, 2, 52–57.

Pindus, M.; Orru, H. (2013). Proximity of busy road increases the prevalence of heart disease – results from RHINE Tartu cohort. In: Environ Health Perspect: Conference of the International Society of Environmental Epidemiology (ISEE), the International Society of Exposure Science (ISES), and the International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ), Basel, Switzerland, August 19–23, 2013.

Pope CA III, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD, 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. Journal of American Medical Association, 287, 1132–1141.

Proietti, E.; Röösli, M.; Frey, U.; Latzin, P. (2013). Air pollution during pregnancy and neonatal outcome: a review. Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery, 26, 9–23.

Saare, K.; Kabral, N.; Maasikmets, M.; Teinemaa, E. (2014). Välisõhu seire linnades. Õhusaaste kauglevi seire ja uuringud 2013. Aastal. Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Tallinn.

Teinemaa, E.; Saare, K. 2009. Tallinna linnastu välisõhu kvaliteedi parendamise tegevuskava. Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Tallinn.

WHO (2004). Tools for health impact assessment of air quality: the AirQ 2.2 software. http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/tools-for-health-impact-assessment-of-air-quality-the-airq-2.2-software

WHO (2013a). Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical Report. WHO, Copenhagen.

WHO (2013b). Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. WHO, Copenhagen.

Lühike *CV*

Üldinfo

Nimi	Hans Orru
Sünniaeg	01/16/1980
Phone	+372 737 4203, +372 527 7427
E-post	Hans.Orru@ut.ee
Address	Tartu Ülikool, Ravila 19, 50411 Tartu

Teenistuskäik, sh praegune ametikoht:

2014–	Tartu Ülikool, Arstiteaduskond, Tervishoiu instituut, keskkonnatervishoiu dotsent
2013–	Umea Ülikool; *Principle research engineer* (0,20)
2010–2013	Umea Ülikool; Külalislektor (0,20)
2007–2013	Tartu Ülikool, Arstiteaduskond, Tervishoiu instituut, keskkonnatervishoiu lektor
1998–2004	Eesti Geaoloogiakeskus; Tehnik

Teaduskraad

2005–2009	Hans Orru, Doktorikraad, 2009, (juhendajad) Forsberg B., Merisalu E., Kaasik M., *Exposure to particulate matter and the related health impacts in major Estonian cities*, Umea Ülikool, Rahvatervise ja kliinilise meditsiini instituut, Töö- ja keskkonnameditsiini eriala
2003–2005	Hans Orru, Magistrikraad, 2005, (juhendajad) Kaasik M., Merisalu E., Kütteturba kaevandamise ja kasutamisega seotud terviseriskid

Uurimisvaldkonnad ja ekspertiis

Peamiseks uurimisvaldkonnaks on olnud õhusaaste tervisemõjud s.h keskkonnaepidemioloogia ja ekspositsiooni uurimine. Teised uurimisvaldkonnad on kliimamuutused, müra ja linnakeskkond terviseriskid ning keskkonnatervise poliitikad. Töötervishoius on peamiseks uurimisvaldkonnaks militaartervis.

Hans Orru on olnud üks olulisemaid keskkonnatervise konsultante Eestis.

Rahvusvaheline teadusvõrgustik

Eesti esindaja COST TU0902 – *Integrated assessment technologies to support the sustainable development of urban areas* and COST IS1309 – *Innovations in Climate Governance*

Rahvasvahelise Keskkonnaepidemiloogia Ühingu liige

NATO töörühmade HFM234 ja SCI273 liige

Saadud uurimistoetused ja projektid

2014–2015	Põlevkivisektori tervisemõjude uuring
2013–2015	Maapinnalähedase osooni õhusaaste ekspositsiooni analüüs ja tervisemõjude hinnang
2014–2015	Keskkonnatervis: arusaamine riskidest ja motivatsioon tervisemõjude vähendamiseks
2012–2016	Kaadrikaitseväelaste terviseriskide hindamine ja juhtimine
2012–2015	Central Asian Network of Education, Research and Innovation in Environmental Health – CANERIEH
2012–2014	Efektiivsete ja paindlike õhupuhastus- ja ventilatsioonitehnoloogiate kompleksne arendamine hoonete energiatõhususe tõstmiseks
2011–2015	Peente osakeste õhusaasteepisoodide kujunemine ning nende mõju elanikkonna tervisele suuremates Eesti linnades
2011–2013	Exposure assessment for the RHINE-population in Tartu
2010–2011	Välisõhu kvaliteedi mõju iniimeste tervisele - peentest osakestest tuleneva mõju hindamine kogu Eesti lõikes
2008–2008	Välisõhu kvaliteedi mõju inimeste tervisele Tartu, Kohtla-Järve, Narva ja Pärnu linnas
2007–2007	Välisõhu kvaliteedi mõju inimeste tervisele Tallinna linnas

Doctorantide juhendamine

2009–2010 Mall Orru, Doctor's Degree, (juhendajad) Sõstra Ü., Orru H., *Dependence of Estonian peat deposit properties on landscape types and feeding conditions*, Tallinna Tehnikaülikool

2010– Egle Kalev, Doctor's Degree, (juhendajad) Lahe J., Orru H., *Causality in claims on activities dangerous to the environment*, Tartu Ülikool

2011– Mihkel Pindus, PhD Student, (juhendajad) Orru H., Jõgi R.*, Prevalence and incidence of respiratory and cardiac disease in RHINE Tartu cohort in relation to environmental factors*, Tartu Ülikool

Olulisemad publikatsioonid perioodil 2008–2014

Demuzere, M.; Orru, K.; Heidrich, O.r; Olazabal, E.; Geneletti, D.; **Orru, H.**; Bhave, A.; Mittal, N.; Feliu, E.; Faehnle, M. (2014). Mitigating and Adapting to Climate Change: Multi-functional and Multi-scale Assessment of Green Urban Infrastructure. Journal of Environmental Management, 146, 107 - 115.

Reckien, D.; Flacke, J.; Dawson, R. J.; Heidrich, O.; Olazabal, M.; Foley, A.; Hamann, J. J.-P.; **Orru, H.**; Salvia, M.; De Gregorio Hurtado, S.; Geneletti, D.; Pietrapertosa, F. (2014). Climate change response in Europe: what's the reality? Analysis of adaptation and mitigation plans from 200 urban areas in 11 countries. Climatic Change, 1-2, 331 - 340.

Orru, H.; Mikola, A.; Upan, M.; Koiv, T.-A. (2014). Variation of indoor/outdoor particulates in Tallinn, Estonia – the role of ventilation, heating systems and life-style. Journal of Environmental and Public Health, 2(2), 52 - 57.

Kesanurm, K.; Teinemaa, E.; Kaasik, M.; Tamm, T.; Lai, T.; **Orru, H**. (2014). Country-wide health impact assessment of airborne particulate matter in Estonia. Steyn, Douw; Builtjes, Peter; Timmermans, Renske (Toim.). Air Pollution Modelling and its Application (47 - 51).Springer

Orru, H.; Andersson, C.; Ebi, K.L.; Langner, J.; Aström, C.; Forsberg, B. (2013). Impact of climate change on ozone related mortality and morbidity in Europe. European Respiratory Journal, 41(2), 285 - 294.

Åström, C.; **Orru, H.**; Rocklöv, J.; Strandberg, G.; Ebi, K.; Forsberg, K. (2013). Heat-related respiratory hospital admissions in Europe in a changing climate: a health impact assessment. BMJ Open, 3(1), e001842

Orru, H.; Laukaitienė, A.; Zurlytė, I. (2012). Particulate Air Pollution and Its Impact on Health in Vilnius and Kaunas. Medicina (Kaunas), 48(9), 472 - 477.

Orru, H.; Maasikmets, M.; Lai, T.; Tamm, T.; Kaasik, M.; Kimmel, V.; Orru, K.; Merisalu, E.; Forsberg, B. (2011). Health impacts of particulate matter in five major Estonian towns: main sources of exposure and local differences . Air Quality, Atmosphere & Health, 4(3-4), 247 - 258.

Orru, H.; Jõgi, R.; Maasikmets, M.; Kaasik, M.; Loot, A.; Kukk, E. (2011). Effects of Chronic PM Exposure From Local Heating on Self-reported Respiratory and Cardiovascular Health in the RHINE Tartu Cohort. Epidemiology, (1), S225 - S226.

Orru, M.; Übner, M.; Orru, H. (2011). Chemical properties of peat in three peatlands with balneological potential in Estonia. Estonian Journal of Earth Sciences, 60(1), 43 - 49.

Orru, H.; Kimmel, V.; Kikas, Ü.; Soon, A.; Künzli, N.; Schins, R.; Borm, P.J.A.; Forsberg, B. (2010). Elemental Composition and Oxidative Properties of PM2.5 in Estonia in Relation of Origin of Air Masses - results from ERCHS II in Tartu. Science of the Total Environment, 408(7), 1515 - 1522 .

Orru, H.; Jõgi, R.; Kaasik, M.; Forsberg, B. (2009). Chronic Traffic-Induced PM Exposure and Self-Reported Respiratory and Cardiovascular Health in the RHINE Tartu Cohort. International Journal of Environmental Research and Public Health, 6(11), 2740 - 2751.

Orru, H.; Kaasik, M.; Merisalu, E.; Forsberg, B. (2009). Health impact assessment in case of biofuel peat - co-use of environmental scenarios and exposure-response functions. Biomass & Bioenergy, 33, 1080 - 1086.

Orru, H.; Teinemaa, E.; Lai, T.; Tamm, T.; Kaasik, M.; Kimmel, V.; Kangur, K.; Merisalu, E.; Forsberg, B. (2009). Health impact assessment of particulate pollution in Tallinn using fine spatial resolution and modelling techniques. Environmental Health, 8, 7

Orru, H.; Kaasik, M.; Antov, D.; Forsberg, B. (2008). Evolution of traffic flows and traffic-induced air pollution due to structural changes and development during 1993–2006 in Tartu (Estonia). The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 3(4), 206 - 216.

Huvialad

Arhitektuur, säästev renoveerimine, matkamine, suusatamine, fotograafia