



TARTU ÜLIKOOL

## ÜLEVAATEUURINGU II ETAPI ARUANNE

### GAASIELEKTRIJAAAMADEGA SEOTUD TERVISEMÕJUD

#### SÜSTEMAATILINE ÜLEVAADE

#### Uuringu pealkiri:

**Metoodika väljatöötamine tuuleparkide ja teiste energiatootmise tehnoloogiate võimalike tervise mõjudega seotud teadusuuringute tulemuste tõlgendamiseks Eesti tingimustes**



Rahastanud Euroopa Liit  
NextGenerationEU



Eesti  
tuleviku heaks

Tartu 2026

## **Uuringurühma koosseis:**

Triin Veber (MSc, MPH), Tartu Ülikool, projektijuht ja ekspert

Ele Kiisk (MA, MSc) Tartu Ülikool, nooremteodik

Hans Orru (PhD, MPH), Tartu Ülikool, teadusjuht

## **Töö tellija: Kliimaministerium**

# Sisukord

Sisukord.....	3
Sissejuhatus ja uuringu teaduslik taust.....	4
Uuringu eesmärk .....	6
Meetodid.....	7
Tulemused ja arutelu .....	9
Gaasi põletamisel eralduvad saasteaineid ja nende tervisemõjud.....	10
Gaasielektrijaamadest eralduvate saasteainete kogused ja nende tervisemõjud .....	11
Elektritootmise tervisemõjud: kivisüsi ja pruunsüsi võrreldes gaasiga .....	13
Elektritootmise tervisemõjud: diisükütus võrreldes gaasiga .....	18
Elektritootmise tervisemõjud: gaas võrreldes heitmevaba elektritootmisega .....	18
Võimalik radooni eraldumine gaasielektrijaamadest .....	21
Kokkuvõte ja soovitused .....	22
Kasutatud kirjandus.....	23
Lisa 1 .....	27
Lisa 2 .....	28

## Sissejuhatus ja uuringu teaduslik taust

Taastuvenergiaallikate, nagu tuule- ja päikeseelektrijaamade laialdasema kasutuselevõtu tekitab vajadus täiendavate tipuelektrijaamade järele, et kompenseerida nende allikate tootmise katkendlikku iseloomu (Markandya & Wilkinson, 2007). Üks võimalus selleks on gaasielektrijaamad. Energiamajanduse arengukava (ENMAK 2035) näeb ette, et Eestisse tuleb juurde ehitada elektrijaamu, mille käivitusaeg on alla 12,5 minuti. Sellele tingimusele vastavad gaasielektrijaamad (ENMAK 2035, n.d.). Gaasielektrijaamades saab kasutada maagaasi, biogaasi ja vesinikku.

Maagaas (mida nimetatakse ka „metaanigaasiks“ või lihtsalt „gaasiks“) on gaasilises olekus fossiilkütuste segu. Elektritootmises kasutatav gaas koosneb peamiselt metaanist  $\text{CH}_4$  (üldiselt umbes 85%), kuid võib sisaldada ka propaani, butaani, lämmastikku ja teisi süsivesinikke. Maagaas on taastumatu loodusressurs ja fossiilkütus (Global Energy Monitor, 2025).

Bioloogilise materjali (nt sõnnik) lagunemisprotsessi käigus moodustuvad erinevad gaasid, millest saab toota biogaasi. Lagunemisprotsesside käigus tekkivad gaasid on ligikaudu 60% metaan, 38%  $\text{CO}_2$  ning väikestes kogustes teisi gaase, nagu  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$  ja  $\text{H}_2\text{S}$  (1–5%) (Freiberg et al., 2018). Biogaasi toodetakse loomasõnnikust, reoveesetest, toiduainetööstuse jääkidest ja teistest biojätmetest ning see arvestatakse taastuvenergia osaks, sest ei suurenda  $\text{CO}_2$  kogust atmosfääris (International Energy Agency, 2020).

Biometaan (tuntud ka kui „taastuv maagaas“) on peaaegu puhas metaan, mida toodetakse kas biogaasi „puhastamise“ teel või tahke biomassi termilise gaasistamise ning sellele järgneva metaneerimise teel. Enamasti kasutatakse biogaasi puhastamist, mis eemaldab biogaasist  $\text{CO}_2$  ja muud saasteained. Tahke biomassi termilise gaasistamise käigus lagundatakse biomass kõrgel temperatuuril (700–800 °C) ja kõrgel rõhul vähese hapnikuga keskkonnas. Tekib gaaside segu, mis koosneb peamiselt süsinikmonooksiidist, vesinikust ja metaanist. Seejärel kasutatakse metaneerimisprotsessis katalüsaatorit, et soodustada vesiniku ja  $\text{CO}$  või  $\text{CO}_2$  vahelist reaktsiooni, mille tulemusena tekib metaan. Protsessi lõpus eemaldatakse järelejäänud  $\text{CO}_2$  või vesi. Biometaan on eristamatu maagaasist ning seda saab kasutada ilma vajaduseta muuta ülekande- ja jaotusvõrgus või lõppkasutajate seadmetes maagaasi asendajana. Samuti sobib see täielikult kasutamiseks maagaasisõidukites (International Energy Agency, 2020).

Fossiilne gaas (maagaas) moodustas 2021. aastal 18% ELi elektritootmisest, kusjuures mõned riigid sõltusid elektri- ja soojuse tootmisel fossiilsest gaasist rohkem kui teised (Health and Environment Alliance, 2022). Eestis maagaasi kasutus hoonete kütmiseks, tööstuses ja transpordis väheneb, kuid see võib tõusta seoses uute gaasijaamade rajamisega elektritootmise tiputundide katmiseks ja reserviks. Praegu töötab maagaasil Kiisa avarielektrijaam (250 MW). Ka koostootmisjaamad võivad kasutada maagaasi või biogaasi (REKK 2030, 2025). Rahvusvahelise Energiaagentuuri hinnangul on lähima 5 aasta jooksul oodata maagaasi pakkumise suurenemist maailmaturul tänu veeldamisvõimsuste suurendamisele Ameerika Ühendriikides ja Kataris. Seetõttu maagaasi varustuskindlus paraneb ja selle omahind langeb (Energy Agency, 2025).

ENMAK 2035 näeb ette Eestis maagaasi osalise asendamise biogaasiga. Eestis tegutseb praegu 20 biogaasijaama, millest 9 põllumajanduslikku biogaasijaama, 8 reoveepuhastuse ja tööstusreovee käitlusjaama ning 4 prügilagaasi tootmisüksust. Kuna biometaani hind on kõrgem kui harilikul maagaasil, on biometaani tarbimise ja tootmise hoogustamiseks rakendatud erinevaid toetusi (ENMAK 2035, n.d.).

Gaasil töötavaid elektrijaamu on kahte tüüpi: kombineeritud tsükliga jaamad (*combined cycle plants*) ja lihtsa tsükliga jaamad, mida nimetatakse ka tipukoormusjaamadeks (*simple cycle plants* või *peaker plants*). Tipukoormusjaamad on vähem efektiivsed ja saastavamad kui kombineeritud tsükliga jaamad. Lisaks võivad tipukoormusjaamad toota rohkem NO<sub>x</sub> ja CO heitmeid (Global Energy Monitor, 2025).

Kuigi maagaasi põletamisel tekib vähem saasteaineid kui teiste fossilkütuste põletamisel (nt kivisüsi ja nafta), tekitab ka gaasi põletamine lämmastikoksiide NO<sub>x</sub>, vääveloksiide (SO<sub>x</sub>), peenosakesi (PM), vingugaasi (CO), formaldehüüdi, elavhõbedat ja teisi saasteaineid, mis on tervisele ohtlikud (AlRafea et al., 2016; Center for Climate and Energy Solutions, 2013; Global Energy Monitor, 2025; Health and Environment Alliance, 2022; Rahman et al., 2024).

Kuna ka Eesti kaalub gaasi ühe võimaliku elektritootmise allikana, on oluline teada gaasijaamade tööga kaasnevatest terviseriskidest.

# Uuringu eesmärk

Käesoleva ülevaate eesmärk anda ülevaade tervisemõjudest, mis võivad elanikkonnal tekkida gaasi (nii maagaasi kui biogaasi) kasutamise tõttu Eestis.

## Uuringu küsimused:

- Millised saasteained tekivad gaasi (nii maagaasi kui biogaasi) põletamisel?
- Milline on gaasi (nii maagaasi kui biogaasi) põletamisel tekkivate saasteainete mõju inimese tervisele?
- Milliseid tõenduspõhiseid soovitusi saab anda poliitikakujundajatele, tööstuse sidusrühmadele ja mõjutatud kogukondadele inimeste tervise kaitsmiseks?

## Meetodid

Uuring viidi läbi süstemaatilise kirjanduse ülevaatenä. Süstemaatilise kirjanduse ülevaate koostamisel kasutasime (kiir)ülevaate (ingl *rapid review*) metoodika põhimõtteid.

Kasutades PECO (*population, exposure, comparison, outcome*) raamistikku süstemaatilise ülevaate küsimuste määratlemiseks kaasasime uuringusse artiklid, mis käsitlesid:

- Populatsioon (kaastatud uuritavad): Üldpopulatsioon, kõik elanikud kogu maailmas.
- Ekspositsioon: Saasteained gaasijaamadest, sh biogaasijaamadest.
- Võrdlusrühm: Inimesed, kes elavad gaasijaamadest kaugemal ja on sellest tekkiva õhusaastega väiksemas kokkupuutes.
- Tervisetulem: Kõik võimalikud tervisega seotud tulemid, sealhulgas häiritus, unehäired, tervisesümptomid (subjektiivselt või objektiivselt mõõdetud, mõõdetud füsioloogilised parameetrid), tervisega seotud elukvaliteet, psühholoogilised näitajad.
- Uuringu disain: Kõik uuringud, mis ei ole kirjad, kommentaarid, juhtkirjad, konverentsi kokkuvõtted. Kaasasime näiteks süstemaatilised ülevaated, meta-analüüsid, narratiivsed ülevaated, tervisemõjude hindamised, kohortuuringud, juht-kontrolluuringud, ristlabilõikelised uuringud, katsed jne.

Välistasime artiklid, mis:

- Ei käsitle inimeste tervisemõjusid. Artiklid, mis käsitlevad ainult tehnilisi aspekte või on tehtud loomade, eluslooduse või katseloomade kohta.
- Ei käsitle elektri tootmist (näiteks gaasiautod, gaasipliidid jne).
- Käsitlevad gaasi põletamisega kokkupuudet töö-, mitte elukeskkonnas.
- Käsitlevad gaasijaamadest tulevate saasteainete tervisemõjusid, kuid uuringus pole neid gaasist elektritootmisega seotud.
- On avaldatud enne 2015. aastat.
- Kirjad, kommentaarid, juhtkirjad, konverentsi kokkuvõtted.
- Teabeallikad, mis ei ole eelretsenseeritud teaduskirjandus.
- Mitte-ingliskeelsed uuringud.

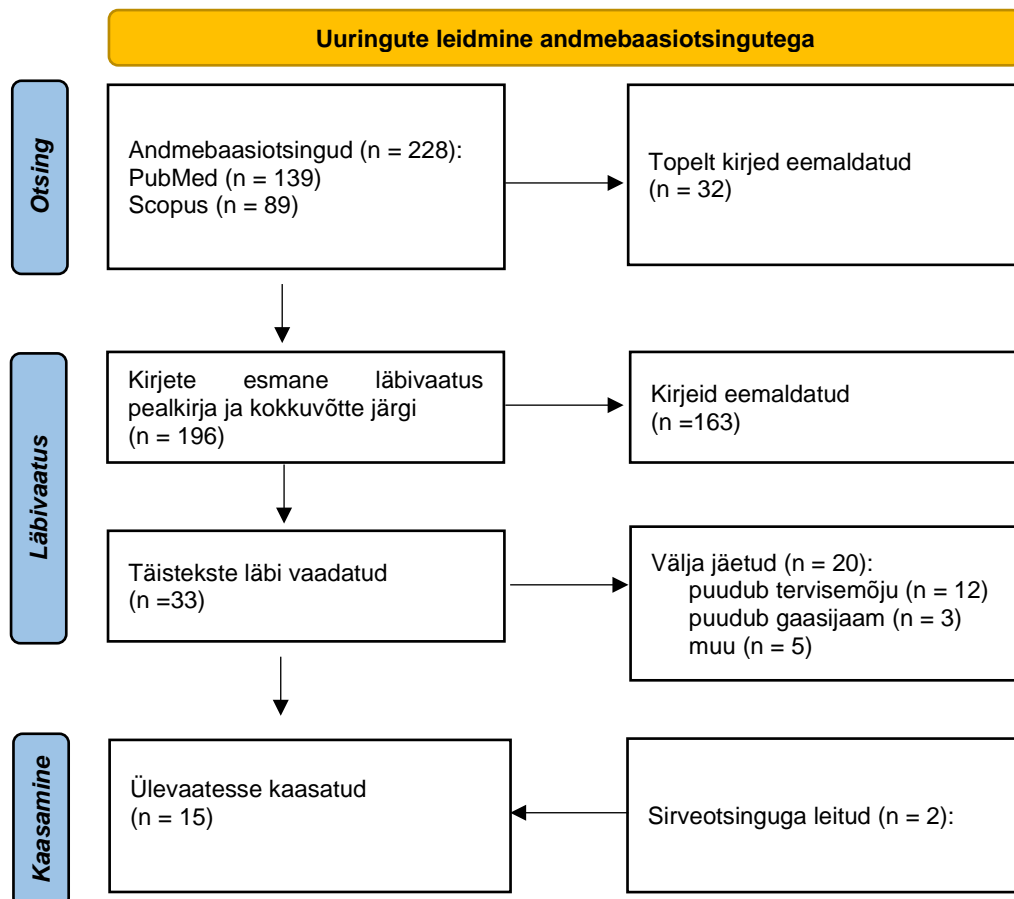
Otsing viidi läbi kõigepealt *PubMed* andmebaasis ja seejärel *Scopus* andmebaasis otsides ajavahemikus 01.01.2015 – 24.10.2025 olevaid kirjeid. Otsinguskeem *PubMed* andmebaasis on toodud Lisas 1.

Kasutatud otsingutermid olid: *burning gas for electricity production; gas combustion; gas power plants; gas turbine combustion; gas power station; gas turbine; gas-fired combustion turbines; biogas; natural gas fueled combined cycle power plant (NG-fueled CCPP); natural gas (NG)*

Viidete haldamiseks kasutasime *Endnote* ja *Mendeley* tarkvara. Pealkirjade ja kokkuvõtete läbi vaatamisel rakendasime *rapid review* ülevaadete metoodikat. Üks tööühma liige vaatas läbi otsingustrateegiaga tuvastatud artiklite pealkirjad ja kokkuvõtted, kasutades eelpool mainitud kriteeriumeid potentsiaalse sobivuse hindamiseks. Sobivateks hinnatud artiklitele leiti teaduslikest andmebaasidest täistekstid. Kõik uuringud, mis valiti pealkirjade ja kokkuvõtete järgi potentsiaalselt sobivaks säilitati täistekstidena. Artiklite andmed sisestati MS Excelisse. Täistekstide läbivaatamisel tehti lõplik otsus artiklite kaasamiseks kahe uurimisühma liikme osalusel.

# Tulemused ja arutelu

Leidsime kirjeid kokku 228 (*PubMed* 139 ja *Scopus* 89). Pealkirja ja kokkuvõtte ülevaate läbis 196 uuringut, 33 uuringut jõudis täistekstide läbivaatuseni (Joonis 1).



Joonis 1. PRISMA voodiagramm teaduskirjanduse otsingute kirjeldamiseks.

Kaasime analüüsi 15 uuringut, millest 6 uuringut oli läbi viidud USAs, 3 Hiinas, 2 Iraanis ning üks uuring Tšehhis, Kreekas, Kanadas ja Indias. Kaasatud uuringutest enamik olid tervisemõjude hindamised, mis põhinesid saastetasemete modelleerimisel ja seejärel saastetasemete järgi võimalike haigestumiste ja surmade prognoosimisel. Enamikes uuringutes võrreldi maagaasi või biogaasi mõne teise kütusega elektri tootmisel. Õhusaasteained põhjustavad läbi tervisehäirete märkimisväärsed varjatud kulused majandusele, näiteks tervishoiukulude suurenemine, töölt puudumine, töötajate tootlikkuse vähenemine, lisaks põhjustab see kaudseid kuluseid, nagu heaolu vähenemine, valu ja kannatused ning surm.

Seetõttu hinnatakse mitmetes uuringutes ka tervisemõjudest tulenevaid kulusid ühiskonnale (ingl *external cost*; eesti keeles ka väliskulud).

## Gaasi põletamisel eralduvad saasteained ja nende tervisemõjud

Gaasi (maagaasi või biogaasi) põletamine tekitab peamiselt lämmastikoksiide ( $\text{NO}_x$ ), süsihappegaasi ( $\text{CO}_2$ ), metaani ( $\text{CH}_4$ ), süsinikmonooksiidi ( $\text{CO}$ ), vääveldioksiidi ( $\text{SO}_2$ ) ja õhusaaste osakesi ( $\text{PM}_{10}$  ja  $\text{PM}_{2,5}$ ), kuid võrreldes fossiilsete kütustega (eriti kivisüsi, pruunsüsi) on heitkogused (eriti  $\text{SO}_2$  ja  $\text{PM}$ ) oluliselt väiksemad (Fouladi Fard et al., 2016; Kouis et al., 2021; Liu et al., 2019).

Kõige rohkem tekib maagaasi põlemisel lämmastikoksiide ( $\text{NO}_x$ ). Lühend  $\text{NO}_x$  tähistatab üldiselt lämmastikoksiide, peamiselt mõeldakse selle all lämmastikoksiidi ( $\text{NO}$ ) ja lämmastikdioksiidi ( $\text{NO}_2$ ). Uuringud on näidanud, et kokkupuude  $\text{NO}_x$ -iga on seotud hingamisteede haiguste sagenemisega, sealhulgas suurenenud vastuvõtlikkusega hingamisteede infektsioonidele.  $\text{NO}_x$  on seotud ka raskemate hingamisteede haigustega ja südame-veresoonkonna haigustega, mis viivad hospitaliseerimise ja surmani (Fouladi Fard et al., 2016; Fouladi-Fard et al., 2025)

Oluliseks õhusaastuse näitajaks, millega erinevate saasteallikate tervisemõjusid hinnatakse, on õhusaaste osakesed (*particulate matter*  $\text{PM}$ ). Lühendiga  $\text{PM}$  tähistatakse osakeste või piiskade segu, mis võib sisaldada erinevaid kemikaale ja tolmu. Osakesed, mis on läbimõõduga alla 10  $\mu\text{m}$  tähistatakse  $\text{PM}_{10}$  ja osakesed, mis on läbimõõduga alla 2,5  $\mu\text{m}$  tähistatakse  $\text{PM}_{2,5}$ . Lisaks gaasi jaamadele tekitavad  $\text{PM}$  osakesi ka liiklus, tööstus, kodused küttekolded ning metsapõlengud. Peamised  $\text{PM}_{2,5}$  kokkupuutega seotud haigused, mis põhjustavad enneaegset suremust, on isheemiline südamehaigus (sh infarkt), tserebrovaskulaarsed haigused (insult), krooniline obstruktiivne kopsuhaigus ja kopsuvähk (Liu et al., 2019). Õhusaaste osakesed mõjutavad ka aju funktsioneerimist (Alzheimeri ja Parkinsoni tõbi) ja vaimset tervist ning on seotud imikute madala sünnikaalu ja suremusega ning reproduktiivsüsteemi häiretega (Fouladi Fard et al., 2016; Razeghi et al., 2024; Sram, 2020).

Üks problemaatilisemaid saasteaineid, mis tekib fossiilsete kütuste põletamisel on vääveldioksiid ( $\text{SO}_2$ ). Gaasi põletamisel tekib ka vääveldioksiidi, aga palju vähem kui teiste fossiilsete kütuste, eriti kivisöe ja pruunsöe põletamisel.  $\text{SO}_2$  on tugev hingamisteede ärritaja, mis põhjustab hingamisteede ahenemist, vilistavat hingamist ja õhupuudust ning võib astmaatikutel esile kutsuda astmahooge. Samuti põhjustab  $\text{SO}_2$  lastel astma esmahaigestumise teket (Casey et al., 2020). Kokkupuude  $\text{SO}_2$ -ga on seotud nii hingamisteede probleemidest kui

ka südame-veresoonkonna haigustest (insult, infarkt) põhjustatud suremuse suurenemisega (Fouladi Fard et al., 2016).

Ka kokkupuude süsinikmonoksiidiga (CO) mõjutab tervist kahjulikult. CO seondub hemoglobiiniga, vähendades hapniku kättesaadavust ning põhjustab häireid hapniku suhtes tundlike elundite nagu süda ja aju talitluses, suurendades sealhulgas müokardiinfarkti esinemise sagedust. Pikaajalise kokkupuute korral võib CO põhjustada häireid, nagu aeglustunud refleksid ja unehäired, emotsionaalne stress, krooniline väsimus, peapööritus, mäluhäired, töövõime langus, infektsioonid, kõhuvalu ja kõhulahtisus. Uuringud on näidanud, et iga CO kontsentratsiooni suurenemine 1 ppm võrra suurendab südamepuudulikkuse tõttu hospitaliseerimise või suremuse riski 3,25% võrra (Fouladi Fard et al., 2016).

Gaasijaamad suurendavad välisõhus ka osooni (O<sub>3</sub>) kontsentratsiooni. Maapinnalähedane osoon on sekundaarne saasteaine, mis tekib lämmastikoksiidide (NO<sub>x</sub>) ja lenduvate orgaaniliste ühendite (VOC) reageerimisel päikesevalguse käes. Osoon põhjustab astma sümptomite süvenemist, uusi astma haigusjuhte ning suurendab hingamisteede haigustega seotud hospitaliseerimist ja suremust. Lisaks kopsudele mõjutab osoon ka südame tervist, olles seotud südame-veresoonkonna haiguste ja nendest tingitud haiglaravi ja suremuse kasvuga (Nsanzineza et al., 2019; Razeghi et al., 2024)

Süsinikdioksiid (CO<sub>2</sub>) ja metaan (CH<sub>4</sub>) ei mõjuta otseselt inimeste tervist tavapäraistes kontsentratsioonides välisõhus. Tegemist on kasvuhoonegaasidega, mis põhjustavad kliimamuutusi ja globaalset soojenemist ning mõjutavad tervist läbi selle (Fouladi Fard et al., 2016).

## **Gaasielektrijaamadest eralduvate saasteainete kogused ja nende tervisemõjud**

Ühes Iraani gaasielektrijaamas (714 MW) mõõdeti NO<sub>x</sub> emissiooniks 1,68 g ühe kWh elektri tootmise kohta, PM<sub>10</sub> emissiooniks 0,0331 g/kWh ja SO<sub>2</sub> emissiooniks 0,0106 g/kWh (Fouladi Fard et al., 2016). Selle gaasielektrijaama tekitatud tervisemõjudest 95,69% oli põhjustatud NO<sub>x</sub> emissioonist, 3,78 % tervisemõjudest põhjustas PM<sub>10</sub> emissioon ja 0,53 % SO<sub>2</sub> ning CO tervisemõju hinnati nullilähedaseks. Uuritud tervisetulemitest põhjustas gaasijaamast eralduv NO<sub>x</sub> kõige enam haigestumise tõttu piiratud tegevusega päevi (25 240 haiguslehel oldud päeva aastas). Lisaks põhjustas NO<sub>x</sub> 977 kroonilise köha juhtu, 95 astma ägenemise juhtu ja 13 kroonilise bronhiidi juhtu aastas ning 8 hospitaliseerimist südameveresoonkonna või

respiratoorsete haiguste tõttu. Selle gaasielektri jaama hinnanguline tervisemõjude kulu ühiskonnale on hinnanguliselt 4 755 155 USA dollarit aastas (2000. aasta kohta) ning kulu ühiskonnale ühe kWh tootmise kohta on 0,096 USD (Fouladi Fard et al., 2016).

Ameerika Ühendriikides läbi viidud uuring (Yang et al., 2019) analüüsis väikese maagaasil töötava ülikoolilinnaku koostootmisjaama (toodab nii soojust kui elektrit) mõju lähiümbruse õhukvaliteedile, keskendudes eelkõige õhusaaste osakestele PM<sub>2,5</sub> ja NO<sub>2</sub>-le. Väikesed koostootmisjaamad asudes tarbijate lähedal on säästlikud, sest väldivad elektri ja soojuste kadu transportimisel, samuti on nad olulised varustuskindluse tagamisel. Kuna need asuvad sageli asustatud piirkondade lähedal, tekitavad nende heitmed muret kohaliku õhukvaliteedi pärast. Uuring viidi läbi ühe ülikoolilinnaku koostootmisjaamas, kus töötavad kaks 15 MW võimsusega maagaasiturbiini. Koostootmisjaama korstna heitmeid mõõdeti 2010. ja 2015. aastal. Lisaks mudeldati saasteainete levikut halvimate ilmastikutingimuste ja maastiku korral. Mudeldamine näitas, et koostootmisjaama PM<sub>2,5</sub> heitmete mõju maapinnalähedasele õhukvaliteedile oli üldiselt väga madal, prognoositud kõrgeimad tunnikeskised kontsentratsioonid jäid vahemikku 0,43–0,45 µg/m<sup>3</sup>. Jaam kasutab puhastusseadmeid, mille eesmärk on eemaldada heitmetest lämmastikoksiidid, mille heitmed olid seetõttu samuti madalad. Autorid järeldavad, et maagaasil töötavatel koostootmisjaamadel ei ole märkimisväärset negatiivset mõju lähiümbruse õhukvaliteedile, kui jaamal on NO<sub>x</sub> puhastusseadmed. Samas tuleks gaasijaamade asukoha planeerimisel kindlasti arvestada asustustiheduse ja hajumistingimustega (Yang et al., 2019).

Kanadas läbi viidud uuring (AlRafea et al., 2016) keskendub maagaasil töötava kombineeritud tsükliga elektri jaama (289 MW) heitmetest tingitud tervisemõjude kulude (väliskulud) hindamisele Kanadas, Ontario provintsis. Uuring näitas, et maagaasil põhineva elektri tootmise tervisemõjude kulu ühiskonnale oli keskmiselt 33,50 Kanada dollarit (CAD) megavatt-tunni (MWh) kohta. See lisab elektri tootmishinnale gaasist umbes 30%. Kui maagaasile lisada hulka 5% vesinikku vähendaks see tervisemõjude kulusid umbes 1,15 CAD/MWh võrra. Vesiniku tootmine on aga kallis. Uuringus selgus, et optimaalne vesiniku sisaldus kütuses on 2,3%, kus tasakaalustuvad suurenenud tootmiskulud ja vähenenud tervisemõjud. Kuigi gaasijaamast tekib kõige rohkem NO<sub>x</sub> heitmeid, on kõige suurem rahaline kulu ühiskonnale PM<sub>2,5</sub> heitmetest, kuna PM<sub>2,5</sub>-l on kõige rohkem tervisemõjusid; sellele järgnevad NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ja CO (AlRafea et al., 2016).

## Elektritootmise tervisemõjud: kivisüsi ja pruunsüsi võrreldes gaasiga

Kolm uuringut Hiinas (Liu et al., 2019; Scott et al., 2021; Zeng et al., 2015), kaks USAs (Casey et al., 2020; Lueken et al., 2016) ja üks Indias (Kumawat et al., 2024) on hinnanud võrdlevalt tervisemõjusid juhul kui kasutada elektritootmises kivisütt, maagaasi või biogaasi. Pruunsöe kasutamise võrdlust maagaasi kasutamisega on läbi viidud Tšehhis (Sram, 2020) ja Kreekas (Kouis et al., 2021).

Kivisöekütel töötavad elektrijaamad toodavad kogu maailmas 25% globaalsest elektritoodangust ning paiskavad õhku märkimisväärses koguses saasteaineid. Näiteks aastal 2014 paiskasid söejäämad õhku 63% kogu USA SO<sub>2</sub> heitkogustest, lisaks paiskavad nad õhku lämmastikoksiide (NO<sub>x</sub>), õhusaaste osakesi (PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub>), elavhõbedat, polütsüklilisi aromaatsiseid süsivesinikke ja lenduvaid orgaanilisi ühendeid (Casey et al., 2020).

Maailma suurim kivisöetootja ja -tarbija on Hiina ning see põhjustab riigis tõsist õhusaastet ja suuri kasvuhoonegaaside heitkoguseid (Zhang et al., 2020). Liu et al. (2019) uuris kivisöepõhise elektritootmise gaasiga asendamise potentsiaalselt mõju heitkogustele ja tervisele Hiinas. Autorid võrdlesid kahte stsenaariumi:

- 1) Baas-stsenaarium, mis põhineb kehtival poliitikameetmel, mis piiravad söe ja biomassi kasutamist, ning eeldab linnastumise jätkumist senises tempos.
- 2) Kodumajapidamiste stsenaarium, mis käsitleb suuremaid muutuseid võrreldes baas-stsenaariumiga. Sellisel juhul ärisektoris asendatakse kõik tahkekütused maagaasiga. Linna- ja eeslinnapiirkondades asendatakse tahkekütused kütmisel maagaasiga ning toiduvalmistamisel kasutatav vedelgaas (LPG) asendatakse samuti maagaasiga. Vabanenud LPG suunatakse kütmiseks ja toiduvalmistamiseks (asendades söe ja biomassi) maapiirkondadesse ning lisaks kasutatakse maapiirkondades tuuleenergia põhinevat elektrit ja biomassist briketti.

Võrreldes baas-stsenaariumiga vähendaks kodumajapidamiste stsenaarium elamusektori PM<sub>2,5</sub> heitmeid 91%, SO<sub>2</sub> heitmeid 77% ja NO<sub>x</sub> heitmeid 47%. Kogu piirkonna PM<sub>2,5</sub> ja SO<sub>2</sub> emissioonid langeksid vastavalt 28% ja 11%. Elanikkonna kaalutud keskmine kokkupuude PM<sub>2,5</sub> osakestega väheneks 13% ehk tasemelt 68 µg/m<sup>3</sup> tasemele 59 µg/m<sup>3</sup>. See võimaldaks 81%-l elanikkonnast kokku puutuda madalama saastetasemega kui 70 µg/m<sup>3</sup>. Kodumajapidamiste stsenaarium vähendaks välis- ja siseõhu saastest tingitud enneaegseid surmasid ligi ühe kolmandiku võrra. Kuid ka kodumajapidamiste stsenaariumi rakendamine ei

vii  $PM_{2,5}$  saastet alla Hiina riikliku sihtnormi ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Liu et al., 2019). Maailma Terviseorganisatsiooni soovitatav  $PM_{2,5}$  taset hoida alla  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (WHO, 2021)

Kivisöe kaevandamisel tekib ka metaani. Zhang et al. (2020) uuris kuidas mõjutab tervist ja kliimat kivisöepõhiste elektrijaamade ja koduse kivisöe põletamise (kütteks ja toidu valmistamiseks) asendamine ainult söekaevandustest pärit metaaniga (Zhang et al., 2020). Hiinas on elektrijaamadega piirkondades aasta keskmine  $PM_{2,5}$  kontsentratsioon  $60\text{--}70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . See on umbes kaks korda kõrgem Hiina riiklikust standardist ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ja kordi kõrgem WHO soovitusel ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Kodus kütteks või toidu valmistamiseks kivisöe kasutajad puutuvad kokku siseõhu  $PM_{2,5}$  kontsentratsiooniga  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , samas kui gaasipliidi puhul on see näitaja  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tervisemõjude hindamine näitas, et kivisöel töötava elektrienergia asendamine kivisöe kaevandusest pärit metaaniga vähendaks aastast keskmist õhusaaste  $PM_{2,5}$  kontsentratsiooni kuni üle  $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ning võiks igal aastal ära hoida kuni 9290 enneaegset surmajuhtumit. Seevastu kodustes küttekolletes metaani kasutamine tooks kaasa väiksemaid muutusi välisõhu kvaliteedis (ligikaudu  $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), kuid siseruumide õhukvaliteedi paranemine võib anda sarnase vähenemise enneaegsete surmade arvus.

Ka Scott et al. (2021) analüüsis Hiina energiapoliitika muutmise mõju tervisele ja majandusele, keskendudes kivisöekasutuse vähendamisele aastaks 2030. Uurijad töötasid välja viis peamist stsenaariumi, mida võrreldi baas-stsenaariumiga:

1. Kivisöe täielik asendamine taastuvenergiaga (100% vähendamine).
2. Kivisöe täielik asendamine maagaasiga (100% vähendamine).
3. 32% kivisöeenergia asendamine taastuvenergiaga (sarnane USA 2013. aasta kliimaplaanile).
4. 32% kivisöeenergia asendamine maagaasiga.
5. 32% heitmete vähendamine, kasutades ainult kivisöelektrijaamade puhastusseadmeid.

Kõige parem poliitiline stsenaarium tervisele on stsenaarium 1, mille kohaselt asendatakse kivisöeenergia täielikult taastuvenergiaga. Selle stsenaariumi rakendamisel välditaks Hiinas 2030. aastal prognooside kohaselt 24 220 enneaegset surma. Söe täielik asendamine maagaasiga (stsenaarium 2) hoiaks ära 17 137 surmajuhtumit ehk ligi 7000 võrra vähem. 32% kivisöe asendamine taastuvenergiaga säästaks 9281 elu. 32% kivisöe asendamine maagaasiga

säästaks 8693 elu. Ainult puhastusseadmete kasutamine (32% saaste vähendamine) hoiaks ära vaid 4906 surma (Scott et al., 2021).

Ka USAs on analüüsitud teoreetilist stsenaariumi, kus kõik USA kivisööelektrijaamad asendatakse 2016. aastal maagaasijaamadega (Lueken et al., 2016). Tulemused näitavad, et kivisöelt gaasile üleminek vähendaks USAs SO<sub>2</sub> heitmed üle 90%, NO<sub>x</sub> heitmeid üle 60%, PM<sub>2,5</sub> heitmeid ligikaudu 40%. See tooks ühiskonnale kaasa 20–50 miljardi dollari suuruse säästu aastas tänu vähenenud tervisemõjudest põhjustatud kulule (väliskulule). Kuigi maagaasijaamad paiskavad õhku 50–60% vähem süsihappegaasi kui kivisöejaamad, on üldine mõju kliimale väike, sest kliimakasu vähendavad oluliselt metaani lekked gaasi tootmisel ja transpordil. Lueken et al (2016) autorid leiavad, et maagaas toimib tõhusa üleminekukütusena, mis parandab kiiresti õhukvaliteeti ja säästab elusid, kuid pikaajaliste kliimaeesmärkide saavutamiseks on vaja lisaks gaasile ka muid lahendusi (Lueken et al., 2016).

Casey et al (2020) uuris USAs reaalselt olukorda, kui kivisöeküttega töötanud elektrijaamad asendati maagaasil töötavatega või varustati puhastusseadmetega (Casey et al., 2020). Neli kivisöeküttega töötavat elektrijaama (Cane Run, Clifty Creek, Mill Creek ja Rockport) kas suleti või varustati SO<sub>2</sub> puhastusseadmega. Autorid jälgisid SO<sub>2</sub> heitkoguste muutusi aastatel 2013–2016.

Jaam „Cane Run“ lõpetas tegevuse mais 2015. Jaam asendati 650 MW võimsusega maagaasil töötava kombineeritud tsükliga jaamaga. Jaama sulgemine vähendas aastast SO<sub>2</sub> heitkogust 10 572 tonni võrra. Kolmes ülejäänud jaamas paigaldati SO<sub>2</sub> puhastusseadmed. Heitkoguste vähenemine oli seotud nii astmaga seotud haiglaravi kui ka erakorralise meditsiini osakonna külastuste vähenemisega. Muutused tõid kaasa ligikaudu 3 sündmuse võrra vähem hospitaliseerimisi/EMO-külastusi kvartalis (Casey et al., 2020).

Indias viidi läbi keskkonna ja tervisemõjude hindamine kivisöejaama ja biogaasijaama kogu elutsükli jooksul (Kumawat et al., 2024). Elutsükli hindamine (ingl *Life Cycle Assessment, LCA*) on meetod, millega hinnatakse toote, teenuse või süsteemi keskkonnamõju kogu selle eluea jooksul. Elutsükkel selles uuringus hõlmab tooraine hankimist, tootmist, jaotamist ja kasutamist, kuid välistab jaama lammutamise etapi (Kumawat et al., 2024).

Uuringu tulemused näitasid, et biogaasijaam on terve elutsükli jooksul kõigis kategooriates keskkonnasäästlikum ja tervisesõbralikum kui kivisöejaam. Kivisöejaama tekitatud tahkete osakeste (PM<sub>10</sub>) kogus (19 620 kg) oli kolm korda suurem kui biogaasijaamal (6314 kg). Kivisöel põhinev elektritootmine eraldab umbes 5 korda rohkem lenduvaid orgaanilisi

ühendeid NMVOC (*Non-Methane Volatile Organic Compounds* 6486,987 kg) kui biogaasipõhine tootmine (1328,629 kg). Samuti tekib ligikaudu 3,5 korda rohkem SO<sub>2</sub> kivisõejaama puhul (134 480 kg) võrreldes biogaasijaamaga (39 330 kg).

Biogaasijaama puhul oli suurim emissioonide allikas tooraine (veisesõnniku) tarnimise etapp, mis moodustas suure osa CH<sub>4</sub>, CO ja PM heitmetest, mis tekkis peamiselt transpordil kasutatava diislikütuse põlemise tõttu. Sõejaama puhul tekkis valdav osa emissioonidest (sh CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> ja CH<sub>4</sub>) sõe kaevandamise etapis.

Biogaasijaama kasvuhoonegaaside heitkogused osutusid tühiseks võrreldes kivisõel põhineva elektritootmisega. Autorid järeldasid, et söepõhine elektritootmine tekitab oluliselt rohkem kahjulikke gaase, mis võrreldes biogaasiga mõjutavad nii kliimat kui ka inimeste tervist, Kumawat et al. (2024) uuring soovib investeerida üha enam biogaasijaamade arvu suurendamisse nii kodumajapidamiste kui ka tööstuse tasandil, et tagada tulevastele põlvkondadele tervislik tulevik (Kumawat et al., 2024).

Lisaks kivisõele on levinud maailmas ka pruunsõe kasutamine elektritootmiseks. Üks Tšehhi piirkond (*Northern Bohemia*) oli 1980ndate lõpus üks saastatumaid Euroopas, kuna seal kasutati laialdaselt väävlirikast pruunsütt nii elektrijaamades, tööstuses kui ka kodude kütmiseks. SO<sub>2</sub> keskmine kontsentratsioon oli seal aastatel 1982–1990 103 µg/m<sup>3</sup>. Piirkonnas elas 127 500 inimest. PM<sub>2,5</sub> kontsentratsioon oli uuritud tööstuspiirkonnas 64 µg/m<sup>3</sup> ja ja võrdluspiirkonnas 32 µg/m<sup>3</sup>.

Õhusaastus uuritud tööstuspiirkonnas oli seotud suurenenud üldsoremuse, vähi- ja südameveresoonkonnahaigustest tingitud suremusega ning lühendas oodatavat eluiga umbes kahe aasta võrra. Samuti seostati õhusaastet kaasasündinud anomaaliatega ja madala sünnikaaluga, mis oli uuritud piirkonnas 4–5 korda kõrgem kui mujal Tšehhis. Ka laste haigestumus oli kaevanduspiirkondades oluliselt kõrgem kui riigi keskmine, eriti hingamisteede haiguste ja vaimsete häirete osas nii nooremas (0–6 a) kui ka vanemas (7–15 a) vanuserühmas. Uuring näitas, et õhusaaste suurenemise episoodid võivad spermides põhjustada geneetilisi kahjustusi.

1990 alustas keskkonnaministeerium piirkonnas uurimisprogrammi, mille käigus mõõdeti õhukvaliteeti ja uuriti seoseid erinevate tervisenäitajatega ning võeti kasutusele parandavaid meetmeid. Uuring andis ootamatu tulemuse saasteallikate jaotuse kohta: selgus, et 70% PM<sub>2,5</sub> saastest piirkonnas pärines kodude kütmisest, mitte suurtest elektrijaamadest, nagu varem arvati. Kodudes kasutati küttena peamiselt pruunsütt. See leid ajendas Tšehhi valitsust investeerima 6,2 miljardit tšehhi krooni, et viia piirkonna elamute küttesüsteemid pruunsõelt

üle maagaasile. Muudatus vähendas märgatavalt SO<sub>2</sub> ja PM<sub>2,5</sub> taset õhus. Pärast õhukvaliteedi parandamist langes piirkonnas märgatavalt suremus, eriti südame-veresoonkonna haiguste tõttu alla 60-aastaste inimeste seas (Sram, 2020).

Kliima soojenemine suurendab õhukonditsioneeride kasutamist, mis omakorda suurendab elektritarbimist ning elektri tootmisega seotud õhusaastet. Kreekas läbi viidud uuringu eesmärgiks oli hinnata, kui palju suurendab kardio-respiratoorset suremust suurenev õhukonditsioneeride kasutus läbi suurenenud õhusaaste elektri tootmiseks ja kui palju suureneb suremus kuumade tõttu ning võrrelda omavahel stsenaariumeid, kus kasutatakse elektritootmiseks pruunsütt või maagaasi.

Kouis et al (2021) uuris Kreekas võrdlevalt õhukonditsioneeride kasutusele võtmisest tingitud kuumalainetest põhjustatud suremuse langust ja samaaegselt suremuse tõusu õhusaastuse tõttu elektritootmisest, kuna õhukonditsioneeride massiline kasutamine suurendab elektritootmist. Viimastel aastakümnetel on Thessaloniki (Kreeka) suvised temperatuurid kiiresti tõusnud:  $\geq 35$  °C maksimaalse temperatuuriga päevade arv on tõusnud 56 päevalt (1983–1992) 141 päevani (2003–2012). Kliima soojenemisega kuumade päevade arv tõuseb veelgi, mis põhjustab haigestumiste ja suremuse tõusu. Õhukonditsioneeride kasutusele võtmine aga vähendab kuumasuremust.

Uuringu tulemused näitasid, et kui kasutada elektritootmiseks pruunsütt, siis kuumusega seotud suremuse ja õhusaastega seotud suremuse summa on suurem võrreldes stsenaariumiga, kus õhukonditsioneeride kuumasuremuse vähendamiseks ei rakendata, sest suurenenud elektritarbimisest tulev õhusaastuse negatiivne mõju ületab konditsioneeride positiivse mõju.

Kui aga elektri tootmiseks kasutada maagaasi, siis õhukonditsioneeride kasutuselevõtmine vähendas kogusuremust võrreldes olukorraga, kus konditsioneeride ei kasutata kõikide kliimastenaariumite korral. Võrreldes pruunsöe kasutamisega on maagaasi kasutamisel elektritootmiseks PM<sub>10</sub> heitmed kümneid kordi madalamad, SO<sub>2</sub> heited sadu kordi madalamad ja NO<sub>2</sub> heited umbes 3 korda madalamad (Kouis et al., 2021).

## Elektritootmise tervisemõjud: diislikütus võrreldes gaasiga

Iraanis viidi läbi uuring, mille eesmärk oli hinnata SO<sub>2</sub> ja NO<sub>x</sub> kontsentratsioone kombineeritud tsükliliga elektriijaama ümbruses, võttes arvesse kütmist gaasi või diislikütusega. Uuritud elektriijaam kasutab suveperioodil maagaasi, kuid talvel tekib turul maagaasi puudus ja jaam lülitub ümber diislile (ingl *gasoil*). Elektriijaama ümbruses 5 km raadiuses kolmes seirepunktis mõõdeti SO<sub>2</sub> ja NO<sub>x</sub> kontsentratsioonid. Tulemused näitasid, et SO<sub>2</sub> ja NO<sub>x</sub> kontsentratsioonid olid talvel kõrgemad kui kevadel.

Terviseriskide hindamiseks kasutati näidikut *Hazard Quotient* (HQ). HQ on mõõdik, mis näitab, kui suur on inimese kokkupuude ainega võrreldes tasemega, millel eeldatavasti tervisemõju ei esine (*reference dose* või *safe level*). Selle hindamiseks arvutatakse sisse hingatavate saasteainete kogus. Kui HQ ületab ühte, tähendab see, et kokkupuude saasteainega ületab ohutu taseme. Tervisemõjude hindamine näitas, et NO<sub>x</sub> HQ väärtused alla 6-aastaste laste puhul ületasid ühte, kui elektriijaamas kasutati gaasi asemel diislit. Teiste vanuserühmade ja SO<sub>2</sub> puhul ohtu ei täheldatud (Fouladi-Fard et al., 2025).

## Elektritootmise tervisemõjud: gaas võrreldes heitmevaba elektritootmisega

USAs hinnati erinevate poliitiliste stsenaariumite mõju õhusaastele ja tervisele. Analüüsitud võimalikud tulevikustsenaariumid aastaks 2030 olid:

1. Baas-stsenaarium tugineb 2013. aasta prognoosidele maagaasi hinna ja pakkumise kohta.
2. Odava gaasi stsenaarium, milles söejaamad asendatakse maagaasiga, mis eeldab maagaasi suurt pakkumist ja madalat hinda.
3. Kasvuhoonegaaside tasude stsenaarium rakendab tasusid süsinikdioksiidi ja metaani heitmetele, mis soodustab heitmevaba taastuenergia kasutuselevõttu.

Osoonitase langeb 2030. aasta baasstsenaariumi puhul võrreldes 2011. aastaga märgatavalt (mediaanlangus 3,5 ppb). See on tingitud kivisöeenergia vähenemisest ning rangematest transpordi- ja tootmisregulatsioonidest, mis vähendavad lämmastikoksiidide (NO<sub>x</sub>) heitmeid. See muutus hoiab aastas ära umbes 200 enneaegset surma. Odava gaasi stsenaariumi korral võrreldes baas-stsenaariumiga osoonitase tõuseb (mediaan 0,1 ppb). Kuigi maagaas asendab sütt elektriijaamades, suureneb nafta- ja gaasitootmine piirkonnas nii palju, et sellest tekkivad täiendavad heitmed kaaluvad üles söejaamade heitmete vähenemise.

Kasvuhoonegaaside tasude kehtestamine toob kaasa suurima keskkonnakasu. Heitmevaba taastuvenergia (peamiselt tuuleenergia) osakaal kasvab enam kui neljakordseks. Osoonitase langeb võrreldes baas-stsenaariumiga (mediaan 0,2 ppb). Kasvuhoonegaaside heitmed vähenevad baastasemega võrreldes 28%. Kulud ühiskonnale elektritootmise tervisemõjudest väheneks üle 200 miljoni dollari väärtuses. Odava gaasi stsenaarium põhjustaks aga kulude suurenemise tõttu kahju umbes 80 miljonit dollarit. Uuring näitab, et nafta- ja gaasitootmise suurenemisest tulenev saaste võib nullida sõejaamade sulgemisest saadava kasu. Nsanzineza et al. (2019) autorid järeldavad, et kasvuhoonegaaside tasude kehtestamine on USAs tõhus meede, mis mitte ainult ei vähenda kliimamõjusid, vaid parandab oluliselt ka regionaalset õhukvaliteeti ja inimeste tervist (Nsanzineza et al., 2019).

USAs on uuritud mikrovõrkude ulatusliku kasutuselevõtu mõju õhukvaliteedile ja tervisele linnakeskkonnas. Mikrovõrk (ingl *microgrid*) tähendab väikest kohalikku üksust, mis suudab toota, salvestada ja jaotada elektrit kontrollitult, ning võib toimida nii põhivõrgu küljes kui ka iseseisvalt. Mikrovõrgud tagavad elektrivarustuse ka peavõrgu rikke korral ning on kasutusel näiteks haiglates, tootmisüksustes, ülikoolilinnakutes või kaubanduskeskustes. Mikrovõrkude levik toob elektritootmise inimestele lähemale, näiteks linnakeskkonda.

Uuringu eesmärk oli hinnata, kuidas mikrovõrkude levik mõjutab kohalikku õhukvaliteeti ja tervist. Analüüsiiti nelja tüüpi asutusi: ülikoolilinnakud, kaubanduskeskused, haiglad ja sadamad.

Võrreldi kahte peamist tehnoloogilist suunda:

- 1) Mikrovõrgud, mis toodavad elektrit maagaasist
- 2) Nullheittega kütuseelementidel (vesinikul) põhinevad mikrovõrgud, mis on täiendatud päikesepaneelide ja akusalvestusega

Uuring leidis, et mikrovõrkude massilisel kasutuselevõtul on suhteliselt väike mõju üldisele piirkondlikule õhukvaliteedile. Isegi pikaajalise ja laiaulatusliku (610 mikrovõrku) mikrovõrkude leviku korral on muutused NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> ja PM<sub>2,5</sub> tasemetes väikesed, moodustades vaid umbes 0,25% kogu piirkonna saastetasemest. Hoolimata väikesest mõjust õhukvaliteedile, on mõju tervisele märkimisväärne, piirkonna suure asustustiheduse tõttu. Gaasiturbiiniga mikrovõrkude massiline kasutuselevõtt tooks kaasa 1 kuni 5 enneaegset surma kuus ning suurendaks haigestumist neuroloogilistesse (hospitaliseerimine Alzheimeri ja Parkinsoni tõve tõttu), südame-veresoonkonna (südameinfarkti juhud, hospitaliseerimine, EMO visiidid ja suremus südame-veresoonkonna haigustesse) ja hingamisteede haigustesse (astma ja kopsuvähi

juhud, hospitaliseerimine, EMO visiidid ja suremus hingamisteede haigustesse). See tähendaks ühiskonnale 33–56 miljonit dollarit ühiskonnale tekitatud kulu kuus. Nullheitega mikrovõrkude puhul need mõjud puuduksid. Kuigi gaasiturbiinid oleks tehniliselt vastavuses saastenormidega, põhjustaksid need tihedas asustuses siiski olulist tervisekahju. Razeghi et al. (2024) autorid järeldavad, et tuleviku mikrovõrgud peaksid eelistama saastevabasid tehnoloogiaid gaasi asemel (Razeghi et al., 2024).

Sergi et al. (2020) uuris kuidas erinevad poliitilised strateegiad asendamaks fossiilsed kütused tuule-, päikese- või maagaasijaamadega USAs mõjutavad tervist. Poliitilistes strateegiates võetakse kasutusele kliimamuutuseid leevendavaid meetmeid tihti vaid kliimanäitajaid silmas pidades. Sellega kaasnevat paranenud õhukvaliteeti ja inimeste tervist käsitletakse sageli kliimamuutuste leevendamise “kaasnevate hüvedena” (ingl *co-benefits*), kuid neid arvestatakse harva kliimapoliitika kujundamisel või elluviimisel. Uuringus võrreldi järgmisi stsenaariume:

- 1) Baas-stsenaarium peegeldab 2017. aasta reaalsel olukorda, hõlmates tollast fossiilkütustel töötavate elektrijaamade parki ning nendest tulenevaid heitmeid ja kahjusid.
- 2) Ainult kliimale suunatud stsenaariumis on eesmärgiks vähendada CO<sub>2</sub> heitmeid 30% võrra võrreldes 2017. aasta tasemega. Tervisekahjusid selles mudelis otsese eesmärgina ei arvestata.
- 3) Tervise ja kliima ühine stsenaarium. Sarnaselt eelmisele on eesmärgiks 30% CO<sub>2</sub> vähendamine, kuid jaamade asendamise asukohad valitakse nii, et minimeeritaks korraga nii kliima- kui ka tervisekahjusid.

Mõlemad vähendamisstsenaariumid eeldavad, et vanad fossiilkütustel töötavad üksused asendatakse koheselt uute maagaasi kombineeritud tsükli jaamade, tuule- või päikeseenergiaga. 30% sihtarv valiti seetõttu, et see esindab ligilähedaselt USA puhta energia kavas ette nähtud heitmete vähendamise määra. Ainult kliimale suunatud strateegia puhul säästetakse aastas 2300–7500 elu. Kui rakendatakse meetmeid korraga nii tervise kui ka kliima parandamiseks, tõuseb säästetud elude arv 3400 – 11 600-ni aastas.

Suurem elude säästmine saavutatakse siis, kui kliimapoliitika kujundamisel seatakse tervise ja õhukvaliteedi parandamine otseseks eesmärgiks, mitte ei käsitleta seda vaid kliimameetmete kaasneva hüvena. Suurim tervislik kasu saadakse heitmete vähendamisest kohtades, kus on suur rahvastikutihedus. See tähendab, et esmajärjekorras tuleks asendada need fossiilkütustel

töötavad elektrijaamad, mille saaste mõjutab otseselt kõige suuremat hulka inimesi (Sergi et al., 2020).

## Võimalik radooni eraldumine gaasielektrijaamadest

USAs läbi viidud uuringus (Stidworthy et al., 2016) analüüsiti, kas maagaasi põletamine elektrijaamades suurendab radooni kontsentratsiooni välisõhus ja kas see kujutab ohtu inimeste tervisele. Radoon on looduslik radioaktiivne gaas, mis on USA-s kopsuvähi põhjustajana teisel kohal. Kuna maagaas pärineb uraanirikkast piirkonnast, tekkis küsimus, kas gaasiga töötavad elektrijaamad võivad atmosfääri ohtlikus koguses radooni paisata. Uuring viidi läbi ülikooli kahe gaasijaama läheduses. Radooni taset mõõdeti kaheksa objekti juures jaamade ümbruses viie kuu jooksul (2014–2015). Mõõdeti ka jaamadesse sissevoolava maagaasi radoonisisaldust. Kasutati dispersioonimudelit, et prognoosida jaamade heitmetest tulenevat radooni levikut ja võrrelda seda tegelike mõõtmistulemustega. Maagaasist leiti märkimisväärses koguses radooni, vahemikus 516 kuni 1240 Bq/m<sup>3</sup>. Tulemused näitasid, et õhu ja kütuse suhe põlemisprotsessis lahjendab radooni kontsentratsiooni juba korstnas tasemeni (umbes 103–138 Bq/m<sup>3</sup>), mis jääb alla USA Keskkonnakaitseagentuuri ohutuspiiri (148 Bq/m<sup>3</sup>). Atmosfääri radooni kontsentratsioonid gaasijaama ümbruses olid püsivalt madalad, keskmiselt 31,6–34,5 Bq/m<sup>3</sup>. Kuigi gaasijaamast allatuult täheldati väikest radooni taseme tõusu (u 6,2 Bq/m<sup>3</sup> võrra), ei langenud see kokku mudeli prognoosidega ja sellel puudus seos jaama töökoormusega. Teadlased järeldasid, et need väikesed kõikumised on tingitud pigem pinnase loomulikust radooni eraldumisest, mitte elektrijaama heitmetest. Uuring kinnitas, et maagaasi põletamine uuritud gaasielektrijaamades ei põhjusta mõõdetavat radooni taseme tõusu välisõhus ega kujuta endast kiirguslikku terviseohtu kohalikele elanikele (Stidworthy et al., 2016).

## Kokkuvõte ja soovitused

Iga põlemisprotsessi käigus tekib õhusaastet. Gaasi (maagaasi või biogaasi) põlemisel tekib kõige enam lämmastikoksiide ( $\text{NO}_x$ ), kuid lisaks tekib ka õhusaaste osakesi ( $\text{PM}_{2,5}$  ja  $\text{PM}_{10}$ ), vääveldioksiidi, osooni, lenduvaid orgaanilisi ühendeid ning kasvuhoonegaase. Gaasi põletamisel tekib 1 MWh elektrienergia tootmise kohta saasteaineid vähem kui fossiilsete kütuste ja biomassi põlemisel, kuid kui gaasijaamu on palju ja nad asuvad inimeste elukohtade läheduses, võib olla sellel märkimisväärne mõju tervisele, suurendades haigestumist südame-veresoonkonna ja hingamisteede haigustesse. Paljudes uuringutes on näidatud olulist tervisenäitajate paranemist ning õhusaastest põhjustatud haigestumise ja suremuse vähenemist, kui elektritootmisel on üle mindud fossiilsetelt kütustelt maagaasile või biogaasile. Biogaasile üleminek aitab lisaks vähendada ka kliimamuutustest tulenevaid tervisemõjusid. Gaasijaamast tervisesõbralikum on siiski heitmevaba taastuvenergia (tuul, päike, salvestus, vesinik), millega ei kaasne õhusaastet. Tervise seisukohalt on gaasijaamad hea alternatiiv põlevkivi ja biomassi põletamisele, kuid eelistama peaks tihedast inimasustusest eemal olevaid asukohti ja väiksemate emissioonidega või puhastusseadmetega jaamu. Enne uute gaasijaamade rajamist tuleb hinnata sellest lähtuva õhusaaste levikut ja sellest tulenevaid potentsiaalseid tervisemõjusid ning vastavalt sellele leida gaasijaamadele parim asukoht.

## Kasutatud kirjandus

- AlRafea, K., Elkamel, A., & Abdul-Wahab, S. A. (2016). Cost-analysis of health impacts associated with emissions from combined cycle power plant. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1408–1424. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.09.001>
- Casey, J. A., Su, J. G., Henneman, L. R. F., Zigler, C., Neophytou, A. M., Catalano, R., Gondalia, R., Chen, Y. T., Kaye, L., Moyer, S. S., Combs, V., Simrall, G., Smith, T., Sublett, J., & Barrett, M. A. (2020). Improved asthma outcomes observed in the vicinity of coal power plant retirement, retrofit, and conversion to natural gas. *Nature Energy*, 5(5), 398–408. <https://doi.org/10.1038/S41560-020-0600-2>
- Center for Climate and Energy Solutions. (2013). *Leveraging Natural Gas to Reduce Greenhouse Gas Emissions*. <https://www.c2es.org/document/leveraging-natural-gas-to-reduce-greenhouse-gas-emissions/>
- Energy Agency, I. (2025). *Gas 2025*. [www.iea.org](http://www.iea.org)
- ENMAK 2035. (n.d.). *Energiamajanduse arengukava (ENMAK) | Kliimaministeerium*. Retrieved February 13, 2026, from [https://kliimaministeerium.ee/energiamajanduse\\_arengukava](https://kliimaministeerium.ee/energiamajanduse_arengukava)
- Fouladi Fard, R., Naddafi, K., Yunesian, M., Nabizadeh Nodehi, R., Dehghani, M. H., & Hassanvand, M. S. (2016). The assessment of health impacts and external costs of natural gas-fired power plant of Qom. *Environmental Science and Pollution Research International*, 23(20), 20922–20936. <https://doi.org/10.1007/S11356-016-7258-0>
- Fouladi-Fard, R., Naddafi, K., Hosseini, M. R., Yunesian, M., Nodehi, R. N., Dehghani, M. H., Hassanvand, M. S., Dehabadi, M., Fiore, M., Rahimi, N. R., & Rajabi, S. (2025). Health risk assessment and Sobol' sensitivity analysis of power plant air pollution (SO<sub>2</sub> and NO<sub>X</sub>): the effect of power plant fuel change. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 21(1), 161–171. <https://doi.org/10.1093/INTEAM/VJAE014>
- Freiberg, A., Scharfe, J., Murta, V. C., Seidler, A., Freiberg, A., Scharfe, J., Murta, V. C., & Seidler, A. (2018). The Use of Biomass for Electricity Generation: A Scoping Review of Health Effects on Humans in Residential and Occupational Settings. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018, Vol. 15, 15(2). <https://doi.org/10.3390/IJERPH15020354>

- Global Energy Monitor. (2025). *Health Effects of Gas Plants*.  
[https://www.gem.wiki/Health\\_Effects\\_of\\_Gas\\_Plants](https://www.gem.wiki/Health_Effects_of_Gas_Plants)
- Health and Environment Alliance. (2022). *False fix: the hidden health impacts of Europe's fossil gas dependency*. <https://www.env-health.org/false-fix/>
- International Energy Agency. (2020). *Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth*. <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>
- Kouis, P., Psistaki, K., Giallouros, G., Michanikou, A., Kakkoura, M. G., Stylianou, K. S., Papatheodorou, S. I., & Paschalidou, A. (2021). Heat-related mortality under climate change and the impact of adaptation through air conditioning: A case study from Thessaloniki, Greece. *Environmental Research*, 199, 111285.  
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.111285>
- Kumawat, R., Gidwani, L., & Rana, K. B. (2024). Comparative analysis of life cycle assessment of biogas-powered and coal-powered power plant for optimized environmental operation. *Heliyon*, 10(20), e39155. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E39155>
- Liu, J., Kiesewetter, G., Klimont, Z., Cofala, J., Heyes, C., Schöpp, W., Zhu, T., Cao, G., Gomez Sanabria, A., Sander, R., Guo, F., Zhang, Q., Nguyen, B., Bertok, I., Rafaj, P., & Amann, M. (2019). Mitigation pathways of air pollution from residential emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei region in China. *Environment International*, 125, 236–244.  
<https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.09.059>
- Lueken, R., Klima, K., Griffin, W. M., & Apt, J. (2016). The climate and health effects of a USA switch from coal to gas electricity generation. *Energy*, 109, 1160–1166.  
<https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2016.03.078>
- Markandya, A., & Wilkinson, P. (2007). Electricity generation and health. *Lancet*, 370(9591), 979–990. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61253-7/ATTACHMENT/61341AA8-D9CC-4EA8-964F-9A7E266E735B/MMC5.PDF](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61253-7/ATTACHMENT/61341AA8-D9CC-4EA8-964F-9A7E266E735B/MMC5.PDF)
- Nsanzineza, R., Capps, S. L., & Milford, J. B. (2019). Modeling Emissions and Ozone Air Quality Impacts of Future Scenarios for Energy and Power Production in the Rocky Mountain States. *Environmental Science and Technology*, 53(13), 7893–7902.  
[https://doi.org/10.1021/ACS.EST.9B00356/ASSET/IMAGES/LARGE/ES-2019-003562\\_0002.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACS.EST.9B00356/ASSET/IMAGES/LARGE/ES-2019-003562_0002.JPEG)

- Rahman, M., Hasan, K., Siddique, M. A. B., Ambade, B., Hussain, M. A., Salam, M. A., Tariq, S., & Ibrahim, M. (2024). Particulate matter concentrations around natural gas-fired power plants and their associated health impact assessment. *Journal of King Saud University - Science*, 36(7), 103270. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2024.103270>
- Razeghi, G., Kinnon, M. Mac, Wu, K., Matthews, B., Zhu, S., & Samuelson, S. (2024). Air quality assessment of a mass deployment of microgrids. *Science of The Total Environment*, 947, 174632. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.174632>
- REKK 2030. (2025). *Eesti riikliku energia-ja kliimakava aastani 2030 ajakohastatud versioon*. <https://kliimaministeerium.ee/energeetika-maavarad/energiapoliitika/energia-ja-kliimakava>
- Scott, M., Sander, R., Nemet, G., & Patz, J. (2021). Improving Human Health in China Through Alternative Energy. *Frontiers in Public Health*, 9. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2021.613517>
- Sergi, B. J., Adams, P. J., Adams, P. J., Muller, N. Z., Muller, N. Z., Muller, N. Z., Robinson, A. L., Robinson, A. L., Davis, S. J., Davis, S. J., Marshall, J. D., & Azevedo, I. L. (2020). Optimizing Emissions Reductions from the U.S. Power Sector for Climate and Health Benefits. *Environmental Science and Technology*, 54(12), 7513–7523. [https://doi.org/10.1021/ACS.EST.9B06936/SUPPL\\_FILE/ES9B06936\\_SI\\_002.PDF](https://doi.org/10.1021/ACS.EST.9B06936/SUPPL_FILE/ES9B06936_SI_002.PDF)
- Sram, R. J. (2020). Impact of Air Pollution on the Health of the Population in Parts of the Czech Republic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 1–13. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17186454>
- Stidworthy, A. G., Davis, K. J., & Leavey, J. (2016). Radon emissions from natural gas power plants at The Pennsylvania State University. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 66(11), 1141–1150. <https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1202157>
- WHO. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. [https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228/?utm_source=chatgpt.com)
- Yang, B., Gu, J., Zhang, T., & Zhang, K. M. (2019). Near-source air quality impact of a distributed natural gas combined heat and power facility. *Environmental Pollution*, 246, 650–657. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.12.067>

Zeng, X., Li, J., & Liu, L. (2015). Solving spent lithium-ion battery problems in China: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *52*, 1759–1767. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.08.014>

Zhang, M., Jordaan, S. M., Peng, W., Zhang, Q., & Miller, S. M. (2020). Potential Uses of Coal Methane in China and Associated Benefits for Air Quality, Health, and Climate. *Environmental Science and Technology*, *54*(19), 12447–12455. [https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C01207/ASSET/IMAGES/LARGE/ES0C01207\\_0004.JPG](https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C01207/ASSET/IMAGES/LARGE/ES0C01207_0004.JPG)

# Lisa 1

Otsingu valem *PubMed* andmebaasis:

```
((((natural gas[Title/Abstract] OR gas-fired[Title/Abstract] OR gas fired[Title/Abstract] OR
gas-fueled[Title/Abstract] OR gas fueled[Title/Abstract] OR biogas[Title/Abstract] OR
biomethane[Title/Abstract] OR gas turbine[Title/Abstract] OR shale gas[Title/Abstract] OR
"Natural Gas"[Mesh]) AND (electricity generation[Title/Abstract] OR power
generation[Title/Abstract] OR power plants[Title/Abstract] OR power plant[Title/Abstract] OR
"Power Plants"[Mesh:NoExp])) AND (environmental exposure[Title/Abstract] OR
"Environmental Exposure"[Mesh] OR "Environmental Pollution"[Mesh] OR
vicinity[Title/Abstract] OR "living near"[Title/Abstract] OR neighborhood[Title/Abstract] OR
distance[Title/Abstract] OR living[Title/Abstract] OR residing[Title/Abstract] OR
residential[Title/Abstract] OR surrounding[Title/Abstract] OR proximity[Title/Abstract] OR
household[Title/Abstract])) AND (("2015/01/01"[Date - Publication] : "2025/10/24"[Date -
Publication]))
```

## Lisa 2

**Tabel 1. Kaasatud uuringud**

Allika viide	Riik	Uuringu kavand	Ekspositsioon	Eesmärk	Tulem	Peamine tulemus
AlRafea et al 2016	Kanada	Tervise- mõjude hindamine	Kombineeritud tsükliga maagaasijaama (289 MW) emissioonid: PM <sub>2,5</sub> <sup>1</sup> , NO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	Selgitada välja maagaasielektriijaama heitmetest tingitud tervisemõjude kulu ühiskonnale ja hinnata vesiniku lisamise mõju sellele	Kulu ühiskonnale arvestades: enneaegne suremus, krooniline bronhiit, astma sümptomid ning südame- ja hingamisteede haigustest tingitud erakorralise meditsiini osakonna visiidid.	Hinnatud gaasijaama tervise- mõjude kulu ühiskonnale on keskmiselt 33,50 Kanada dollarit 1MWh kohta (u 30% tootmishinnast); vesiniku lisamine säästab umbes 1,15 CAD/MWh; suurima terviskuluga on PM <sub>2,5</sub> .
Casey et al 2020	USA	Looduslik eksperiment ( <i>natural experiment</i> )	SO <sub>2</sub> ; kivisöejaamade asendamine maagaasijaamadega ; SO <sub>2</sub> puhastus- seadmete paigaldamine	Hinnata söejaamade asendamise ja SO <sub>2</sub> puhastus- seadmete paigaldamise mõju astmaga seotud tervisenäitajatele.	Astmaga seotud haiglaravi kordade arv ja kiirabi visiidid; ravimite kasutamine.	Söejaamade üleminek maagaasile või puhastusseadmete paigaldamine vähendas oluliselt astmaga seotud hospitaliseerimisi ja ravimite kasutamist.
Fouladi Fard et al 2016	Iraan	Tervise- mõjude hindamine	PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> <sup>2</sup> , CO SO <sub>2</sub> ; maagaasi kombineeritud tsükliga elektriijaama emissioonid	Hinnata maagaasil töötava jaama tervise- mõjude kulu ühiskonnale	Suremus (pika- ja lühiajaline), krooniline bronhiit), piiratud aktiivsusega päevad, südame- veresoonkonna või hingamisteede haiguste tõttu hospitaliseerimine astmahood, südamepuudulikkus ning krooniline köha.	NO <sub>x</sub> emissioon gaasijaamast (1,68 g/kWh) põhjustas 25 240 haigestumise tõttu piiratud tegevuspäeva, 977 kroonilise köha juhtu, 95 astma ähenemise juhtu, 13 kroonilise bronhiidi juhtu ja 8 hospitaliseerimist südameveresoonkonna või respiratoorsete haiguste tõttu aastas. Teiste saasteainete mõju on väga väike. Kulu ühiskonnale tervise- mõjude tõttu ühe kWh kohta on 0,096 USD.

Fouladi Fard et al 2025	Iraan	Tervise- mõjude hindamine	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> ; kütusevahetus: maagaas vs diislikütus	Hinnata kütusetüübi (maagaas vs. diisel) mõju SO <sub>2</sub> ja NO <sub>x</sub> kontsentratsioonidele ning tervisele elektrijaama ümbruses	Terviseriskide hinamiseks kasutati ohuteguri suhet ( <i>Hazard Quotient</i> <i>HQ</i> ).	NO <sub>x</sub> ja SO <sub>2</sub> tasemed tõusid oluliselt talvel, kui kasutati maagaasi asemel diislit. Terviseriski täheldati diisli kasutamise korral alla 6 aastastele lastele, mis tulenes kõrgest NO <sub>x</sub> tasemest.
Kouis et al 2021	Kreeka	Tervise- mõjude hindamine	PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ; elektrienergia tootmine kliimaseadmete nõudluse tõttu	Hinnata suremust kuumalainete tõttu ja suurenenud õhusaastuse tõttu konditsioneeride kasutamisest, võrreldes pruunsütt ja maagaasi kütusena elektrijaamades.	Kardio-respiratoorne suremus.	Kui kasutada elektri tootmiseks pruunsütt, siis konditsioneeride kasutusele võtmisega suremus lähiaastatel ei vähene vaid suureneb, sest suureneb õhusaastus. Kui maagaasi kasutada elektri tootmiseks, siis õhukonditsioneeride kasutuselevõtmine vähendab kogusuremust (kuumasuremus + õhusaaste suremus).
Kumawat et al 2024	India	Elutsükli hindamine	Biogaasi ja kivisöe elektri jaama emissioonid	Võrrelda saasteainete emissioone ja keskkonnamõjusid (sh mõjusid inimese tervisele) kogu elutsükli jooksul sõejaamal ja biogaasi jaamal	Hinnati saasteainete emissiooni mõlema jaama elutsükli jooksul.	Biogaasi jaamadel on oluliselt väiksem mõju õhukvaliteedile (vähem PM <sub>10</sub> ja SO <sub>2</sub> emissioone) ja inimese tervisele võrreldes kivisõe jaamadega.
Liu et al 2019	Hiina	Tervise- mõjude hindamine	PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ; Kivisöe asendamine maagaasiga nii elektritootmises kui ka kodudes	Hinnata kas maagaasi kasutamine kivisöe asemel vähendab emissioone ja tervise mõjusid.	Õhusaaste kontsentratsioon välis- ja siseõhus; enneaegne suremus.	Kivisöe maagaasiga asendamine vähendaks PM <sub>2,5</sub> ja SO <sub>2</sub> heitkoguseid 28% ja 11% ning vähendaks enneaegseid surmasid peaaegu kolmandiku võrra.
Lueken et al 2016	USA	Tervise- mõjude hindamine	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ; PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> <sup>3</sup> , CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ; Elektritootmise emissioonid kui kõik sõe jaamad asendada maagaasiga	Hinnata milline oleks mõju tervisele ja kliimale, kui kõik USA sõe jaamad asendataks maagaasi jaamadega.	Saasteainete emissioon; enneaegne suremus ja haigestumuse rahaline kulu ühiskonnale.	Maagaasile üle minnes SO <sub>2</sub> heitmed vähenevad üle 90%, NO <sub>x</sub> heitmeid üle 60% ning PM-i heitmeid 40%. Tervise mõjudest põhjustatud kulu ühiskonnale väheneks 20–50 miljardit dollarit aastas.
Nsanzineza et al 2019	USA	Tervise- mõjude hindamine	O <sub>3</sub> ; SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> ; erinevad poliitilised stsenariumid: 1. odav gaasi hind 2. kasvuhoone- gaaside maksustamine	Hinnata energiapoliitika stsenariumite mõju osooni tasemele ja tervisele aastaks 2030.	Osooni tase; enneaegne suremus; majanduslik kasu/kahju.	Odava gaasi tsenaarium toob kaasa osooni taseme tõusu ja tervise kahju, sest nafta ja gaasi tootmine suureneb. Kasvuhoonegaaside maksustamine toob kaasa õhusaastuse ja enneaegse suremuse vähenemise ning majandusliku kasu.

Razeghi et al 2024	USA	Tervise- mõjude hindamine	PM <sub>2,5</sub> , O <sub>3</sub> ; gaasiturbiinidega vs nullheitega mikrovõrgud	Hinnata mikrovõrkude massilise kasutuselevõtu mõju õhukvaliteedile ja rahvatervisele linnakeskkonnas.	Enneaegne suremus, hospitaliseerimine Alzheimeri, Parkinsoni, südame- veresoonkonna ja hingamisteede haiguste tõttu; Kopsuvähi, müokardiinfarkti, astma esmashaigestumus; Erakorralise meditsiini osakonna visiidid.	Maagaasi kasutavad mikrovõrgud suurendavad suremust 1–5 juhtu kuus ja põhjustavad kulu ühiskonnale 33–56 mln USD kuus; nullheitega süsteemid toovad olulist majanduslikku säästu ja tervisekasu.
Scott et al 2021	Hiina	Tervise- mõjude hindamine	PM <sub>2,5</sub> ; Sõe-, maagaasi- ja taastuenergia tootmise emissioonid	Hinnata kui palju enneaegseid surmasid on võimalik vältida sõe-energia asendamisega taastuenergia ja maagaasiga.	PM <sub>2,5</sub> kontsentratsiooni muutus; Enneaegsed surmad.	Sõeenergia täielik asendamine taastuenergiaga on kõige tõhusam, hoides ära 24 220 enneaegset surma. Sõe täielik asendamine maagaasiga väldiks 7083 enneaegset surma vähem.
Sergi et al 2020	USA	Tervise- mõjude hindamine	PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ; Erinevad poliitilised strateegiad asendamaks fossiilsed kütused tuule-, päikese- või maagaasijaamadega	Hinnata erinevate poliitiliste strateegiade mõju õhukvaliteedile, tervisele ja majandusele.	Suremus ja sellest tingitud rahaline kulu ühiskonnale.	Ainult kliimale suunatud strateegia puhul säästetakse aastas 2300–7500 elu. Kui rakendetakse kliima ja tervise meetmeid ühiselt, tõuseb säästetud elude arv 3400– 11 600-ni aastas. Paremast tervisest ja kliimast saadav majanduslik kasu on võrdne või suurem kui heitmete vähendamiseks tehtavad kulutused.
Sram et al 2020	Tšehhi	Erinevad epidemi- oloogilised uurimised uurimis- programmi raames	SO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PAH; pruunsütt põletavad jaamad vs üleminek maagaasile	Selgitada õhukvaliteedi seoseid tervisenäitajatega kõrge saastusega kaevanduste ja elektritootmise piirkonnas.	Biomarkerid, genotoksilisus, raseduse näitajad, sperma analüüs, kognitiivsed testid, suremus.	70% PM <sub>10</sub> saastest pärines kodustest küttekollettist. Üleminek pruunsöelt maagaasile vähendas oluliselt suremust, eriti meeste südame-veresoonkonna suremust (11,3%).
Stidworthy et al 2016	USA	Vaatlus- uuring	Radoon maagaasi elektrijaamadest	Teha kindlaks, kas maagaasi põletamine elektrijaamades põhjustab radooni	Radooni kontsentratsioon maagaasijaama läheduses.	Maagaasis on kõrge radoonisisaldus, kuid põlemisel tekkiv lahjendus viib kontsentratsiooni korstnast väljumisel alla piirmäära; tervisemõju allatuult puudub.

				kontsentratsiooni tõusu allatuult.		
Zhang et al 2020	Hiina	Tervise- mõjude hindamine	PM <sub>2,5</sub> eristades välis- ja siseõhu saastet; kivisüsi vs söekaevandustest pärinev metaan	Hinnata kas söekaevandustest pärit metaani kasutamine kivisöe asemel vähendab emissioone ja tervisemõjusid.	PM <sub>2,5</sub> kontsentratsioon; enneaegne suremus; kasvuhoonegaasid.	Söekaevandusest pärit metaani kasutamine elektri tootmiseks vähendab PM <sub>2,5</sub> taset ja hoiab ära kuni 9290 enneaegset surma aastas. Kodudes söe asendamine metaaniga toob kaasa siseruumide õhusaaste vähenemise ja lisab samas suurusjärgus päästetud elusid.

<sup>1</sup>PM<sub>2,5</sub> – Õhusaaste osakesed, mis on väiksemad kui 2,5 µm

<sup>2</sup>NO<sub>x</sub> – Üldnimetus lämmastikoksiididele, peamiselt lämmastikoksiid (NO) ja lämmastikdioksiid (NO<sub>2</sub>)

<sup>3</sup>PM<sub>10</sub> – Õhusaaste osakesed, mis on väiksemad kui 10 µm