

Statusartikel

Ugeskr Læger 2023;185:V05230294

Luftforurening, klimaforandringer og sundhed

Jakob Bønløkke¹ & Steffen Loft²

1) Dansk Ramazzini Center, Arbejds- og Miljømedicinsk Afdeling, Aalborg Universitetshospital, 2) Afdeling for Miljø og Sundhed, Institut for Folkesundhedsvidenskab, Københavns Universitet

Ugeskr Læger 2023;185:V05230294

HOVEDBUDSKABER

- Vi ved, at luftforurening medfører mange for tidlige dødsfald og øget sygelighed af en lang række sygdomme – med store samfundsudgifter til følge.
- Luftforurening og drivhusgasser har ofte, men ikke altid, de samme kilder, som forstærker hinandens effekter.
- Et fald i afbrænding af fossile brændsler og biomasse vil samtidig give sundhedsgevinster, økonomiske besparelser og bremse klimaforandringer.

Vi har i Europa i årtier oplevet faldende luftforurening. Det gælder lavere koncentrationer af sundhedsskadelige fine partikler med diameter $< 2,5 \mu\text{m}$, også kaldet $\text{PM}_{2,5}$, hvor PM står for »particulate matter«, dvs. partikelforurening. Faldet gælder desuden gasser som kvælstofdioxid (NO_2). Sundhedskonsekvensvurderinger anslår, at for tidlige dødsfald som følge af luftforurening parallelt er faldet fra knap 8.000 til ca. 4.000 årligt [1]. Disse tal er løbende opjusteret pga. ny viden om effekter af luftforurening ved lavere koncentrationer [1].

Samtidig har vi oplevet en vedvarende stigning i koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren, selvom udledningen fra mange af de kilder, som bidrager til luftforureningen, er faldet væsentligt i vores del af verden. De fleste drivhusgasser har ikke direkte effekter på helbredet, men de forbliver i atmosfæren meget længere end luftforurening og vil via klimaforandringer forventes at medføre flere og større sundhedsskader i de kommende årtier [2].

I denne artikel vil vi give en oversigt over kilder til såvel luftforurening som drivhusgasser og klimaforandringer, deres komplicerede interaktioner og over mulighederne for at forebygge ikke bare sygdom og tab af leveår, men også for at spare samfundet for enorme udgifter og derved for at gøre omstillingen til et klimaneutralt samfund væsentligt billigere end almindeligvis antaget.

KILDER OG EFFEKTER

Der er mange naturlige kilder til sundhedsskadelig luftforurening, såsom sandstorme og vulkaner, som er vanskelige eller umulige at forebygge. Skovbrande og sandstorme forventes begge at blive hyppigere pga. klimaforandringer og ændringer i naturforvaltning og brug af jorden [3, 4], ligesom sand og støv i luften i sig selv bidrager til global opvarmning [5]. Langt den største del af luftforureningen især i tætbefolkede områder er dog menneskeskabt og i al væsentlighed forebyggelig.

Ofte stammer luftforurening fra de samme kilder, som udleder gasser og partikler med drivhuseffekter på klimaet. Ozon og PM_{2,5} stammer primært fra langtransport, i Danmark især fra Sydvesteuropa. Sekundært dannet PM_{2,5} fra landbrug og brændeovne i Danmark bidrager ligeledes til dette. NO₂ har især lokale kilder, f.eks. fra køretøjer med brændstofmotorer, som også udleder CO₂. Den kendteste drivhusgas, CO₂, kan have negative helbredseffekter, men for CO₂ observeres effekter som nedsat koncentrations- og arbejdsevne først ved højere niveauer end de atmosfæriske værdier, f.eks. i bygninger med stor personbelastning [6]. Ozon i udeluften medfører derimod såvel sundhedsskadelige risici som drivhuseffekter i atmosfæren, hvor gassen dannes ud fra både naturligt forekommende flygtige forbindelser og fra menneskeskabt forurening (Figur 1).

Den væsentligste menneskeskabte årsag til forurening med PM_{2,5}, svovldioxid (SO₂) og kvælstofoxiderne kvælstofdioxid og kvælstofoxid, som tilsammen kaldes NO_x, såvel som med CO₂ er afbrænding af fossile brændsler og biomasse. I Danmark og andre lande med intensivt landbrug bidrager gasser som ammoniak og metan og PM_{2,5} fra landbruget dog betydeligt [1].

Hvor CO₂-koncentrationen er fortsat med at stige i et accelererende tempo, og ozon også viser en stigende tendens [7], er forureningen med partikler og NO₂ i de seneste tiår faldet i mange befolkede områder, herunder i Danmark [1], men dog ikke i urbane vækstområder i Asien og Afrika [8]. Der er således i kraft af vækst i befolkningstal og økonomisk aktivitet sket en stigning i antallet af tabte leveår på kloden fra udendørs luftforurening [9].

Luftforurening har mange veldokumenterede skadevirkninger på helbredet, og listen over sygdomme, der kan forårsages eller forværres af luftforurening, er lang og i færd med at blive længere. I de senere år har forskning dokumenteret skadevirkninger af stadigt lavere koncentrationer af partikler og gasser [10]. De sygdomme, hvor øget hyppighed og sværhedsgrad pga. luftforurening er bedst dokumenteret, ses primært hos ældre personer i form af kardiovaskulære sygdomme, lungecancer og KOL med følger i form af sygefravær, indlæggelser og præmatur død. Det er velunderbygget, at børn rammes af astma og nedre luftvejsinfektioner ved forurening fra trafik, mens den største globale byrde af nedre luftvejsinfektioner hos børn er knyttet til røg fra indendørs ildsteder [11, 12].

Ozonforurening skader desuden udviklingen af lungefunktionen hos børn og unge [13]. Bidrag til bl.a. diabetes, negative graviditetsudfald, neurologiske og psykiatriske sygdomme er efterhånden veldokumenterede og må forventes at komme til at indgå i kommende beregninger af forureningens skadevirkninger [11].

Verdenssundhedsorganisationen (WHO) vurderede i 2022, at luftforurening medfører 6,7 millioner for tidlige dødsfald årligt på verdensplan [14]. Ca. halvdelen af disse skyldes udledning fra madlavning og opvarmning, og størstedelen af resten skyldes andre menneskeskabte udledning. Et nyt studie er kommet frem til næsten 9 millioner dødsfald årligt globalt og en forkortelse af levetiden med 2,9 leveår [15]. Ifølge studiet kan levetidstab i Danmark være 1,8 år forårsaget alene af fossil afbrænding [15]. Globalt kan et stop for afbrænding af fossile brændsler øge levealderen med 1,1 år med store regionale variationer. Fjernelse af andre menneskeskabte kilder kan bidrage med 0,6 leveår, mens 1,2 leveår skyldes naturlige kilder. Til sammenligning bidrager tobaksrygning med 2,2 tabte leveår pr. indbygger globalt [15].

Den nyere viden om, at der ikke kan findes nogen tærskelværdi for luftforureningens effekter, som kan observeres ved selv de laveste koncentrationer, har været en del af grundlaget for, at WHO har reduceret anbefalede maksimalkoncentrationer for PM_{2,5} og NO₂ betydeligt i deres retningslinjer for luftkvalitet i 2021 [16]. Disse er langt under de gældende i EU [17] (Tabel 1).

TABEL 1 Udvalgte grænseværdier for luftforurening i EU [17] og anbefalinger fra WHO i hhv. 2021 og 2005 [16].

Stof	Enhed	EU	WHO	
			2021	2005
PM _{2,5}	µg/m ³ , årligt gns.	25	5	10
NO ₂	µg/m ³ , årligt gns.	40	10	40
Ozon	µg/m ³ , 8-timers maks.-værdi	120	100	100

PM_{2,5} = partikulært stof med diameter < 2,5 µm.

Klimaforandringerne fører i sig selv til øget dannelse af partikler og ozon, men også af allergifremkaldende pollen med længerevarende sæson og med større udbredelse af problematiske arter som bynkeambrosie [18, 19]. Der er komplekse interaktioner mellem partikler, NO₂ og ozon, som ud over at påvirke udvikling og morbiditet af luftvejssygdomme som astma og rinitis og planterers produktion af pollen også har indflydelse på pollens sygdomsfremkaldende egenskaber og luftvejenes følsomhed [20].

Samlet set vil klimaforandringerne øge morbiditet og mortalitet. Alene i USA er effekten beregnet til om få år at kunne medføre flere tusind ekstra årlige dødsfald [21]. Effekterne vil kunne modvirkes ved regulering og begrænsning af menneskeskabt luftforurening. Eksempler på dette har været filtre på udstødning og skorstene, mindre svovl i brændsler eller brug af lukkede ildsteder. Det har været tiltag, som primært har været rettet mod udledninger. I stedet vil nedbringelse af forbruget af brændsler bidrage til reduktion i både luftforurening og drivhusgasser. Studier viser, at dette ikke bare fører til lavere gennemsnitlig luftforurening, men især vil mindske antallet af episoder med ekstreme forureningsniveauer, som er særligt skadelige for helbredet [22]. Luftforurening indgår som en af de vigtigste trusler mod folkesundheden knyttet til klimaforandringer i storbyer. I 530 storbyer, som har angivet klimaforandringer som en trussel, nævnes dårlig luftkvalitet som den tredjestørste trussel, efter infektionssygdomme og hedeølger [23].

Denne viden er ikke ny og har bl.a. været fremført i de såkaldte Lancet Countdown-rapporter. I den seneste konkluderes: »Accelereret dekarbonisering ville ikke blot forebygge de mest katastrofale helbredspåvirkninger fra accelereret opvarmning, men kunne også, hvis den var designet til maksimalt sundhedsudbytte, redde millioner af liv med sundere kost, mere aktive livsstile med brug af aktive transportformer som gang og cykling samt forbedret luftkvalitet« [2].

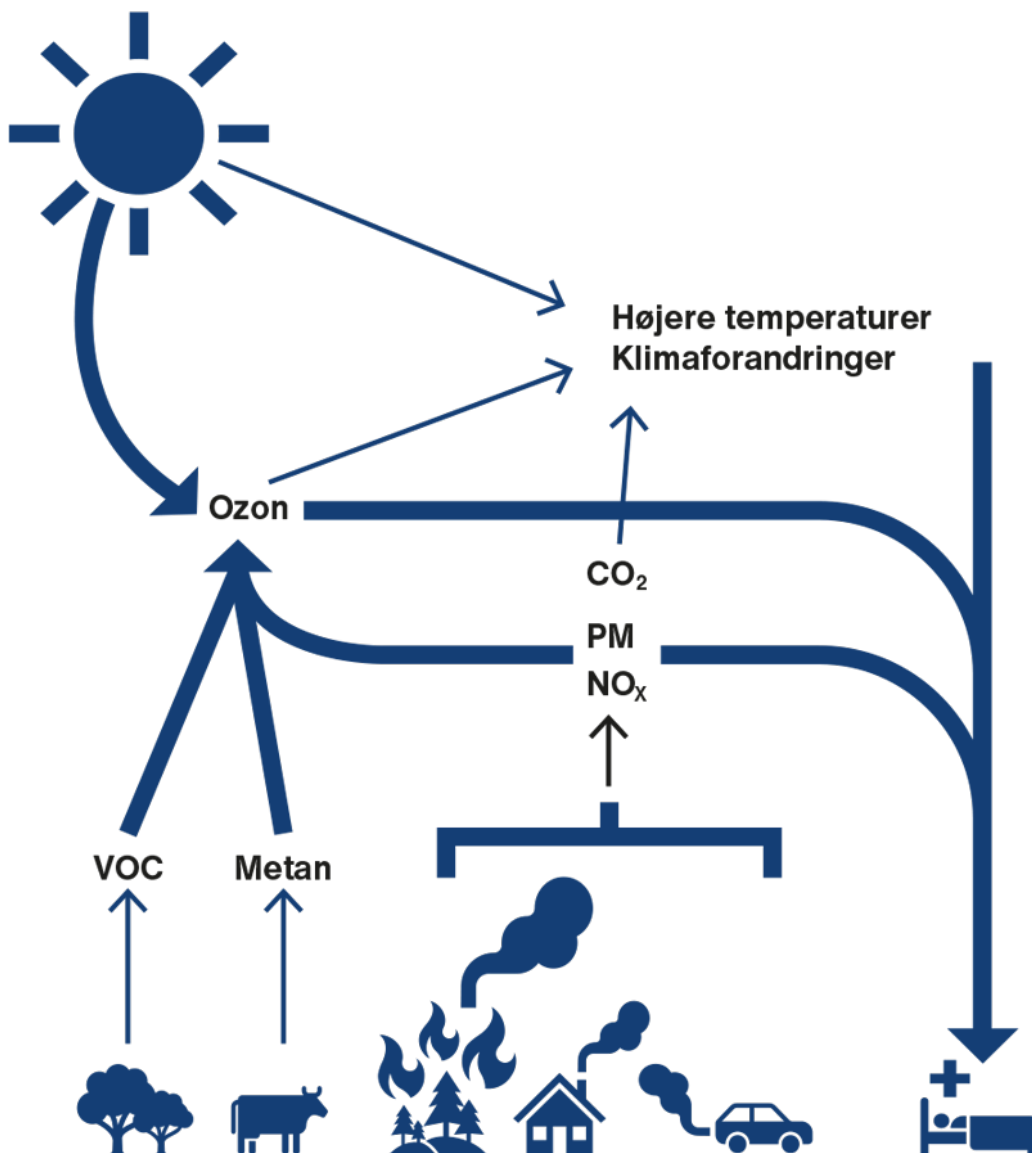
KOMPLEKSE INTERAKTIONER MELLEM LUFTFORURENING OG DRIVHUSGASSER

Klimaforandringer medvirker til at øge hyppighed og udbredelse af skovbrande, som både fører til mere lokal luftforurening med akutte effekter og til øget baggrundsforurening med effekter på sygelighed globalt. Røgen fra brande indeholder mange af de samme skadelige stoffer som tobaksrøg [3]. Med flere mennesker bosat nær områder med risiko for brande øges behovet for lokale beredskaber til at håndtere mange akutte indlæggelser [3]. Behovet for hurtige myndighedsindsatser med advarsler og fagligt begrundet rådgivning af borgere i udsatte områder kan også blive større.

Dannelsen af ozon nær jordoverfladen skyldes komplekse solafhængige kemiske reaktioner mellem forbindelser fra forbrænding og fra naturen (Figur 1). Klimaforandringerne medfører øget dannelse af ozon, men dertil kommer, at metan fra såvel tidligere permafrost, drøvtyggere og fra gasanlæg fremmer dannelse af ozon. Biogasanlæg, som bidrager til at mindske luftforurening og drivhusgasser, kan således, hvis de er utætte, bidrage til såvel helbredseffekter som til global opvarmning.

FIGUR 1 De vigtigste kilder til luftforurening og drivhusgasser og veje til sundhedsskadelige effekter.

Grafik: Andrea Bønløkke.



PM = partikulært stof; VOC = flygtige organiske forbindelser.

Der er en væsentlig undtagelse fra den generelle sandhed, at tiltag mod luftforurening og imod klimaforandringer er de samme. Det gælder den reduktion i svovlindholdet i fossile brændsler, som international regulering har påbudt for at forhindre dannelse af SO₂, der fik skylden for de mange dødsfald

under de store smog-episoder i 1950'erne. SO₂ danner i atmosfæren sekundære aerosoler, som pga. deres kemi påvirker skydannelse og refleksion af sollys, så de mindsker opvarmning af klimaet. Effekten af reduktionerne i svovludledning har en stor positiv effekt på sundheden globalt, men med tiden er den negative effekt på klimaet også tydelig og forventes at vokse de kommende årtier [24, 25].

Beplantning opsuger CO₂ og kan reducere lokale varmeeffekter, kan reducere luftforurening lokalt, og grønne områder har en positiv virkning på helbredet [2], hvilket især er vist i byområder [26]. Beplantning kan dog bidrage til øget naturlig luftforurening med bl.a. pollen. Cykling og gang – der er mere attraktivt i grønne områder – reducerer udledninger fra forbrændingsmotorer og forbedrer i sig selv sundheden også ved færdsel i forurenede områder [27].

ØKONOMISKE EFFEKTER FOR SAMFUNDET

Selv om udgifterne til at holde den globale temperaturstigning under 2 °C er høje, så viser beregninger, at sparede helbredsudgifter fra aftagende luftforurening vil kompensere for en meget stor del af disse [2, 28] og i lande som Indien og Kina endda give besparelser, der overstiger udgifterne [29]. Der er efterhånden gennemført mange sådanne undersøgelser af forskellige scenarier og forskellige beregningsmetoder, som stort set entydigt viser store besparelser. Globalt løb omkostningerne ved præmature dødsfald pga. luftforurening op i 2,3 billioner US-dollar i 2020 eller omkring 2,7% af verdens GDP [2].

Fald i luftforurening betyder, at det kan betale sig at investere i omlægning fra fossil energi eller i værste fald, at det er meget billigere, end det umiddelbart fremgår af beregninger af omkostningerne. Også i Danmark vil besparelserne ved at nå klimamålene være betydelige og kunne dække en stor del af udgifterne. Besparelserne stammer fra prissætningen af tabte leveår og sparede udgifter til sygefravær og sygdomsbehandling. Besparelser ved at nå målet om 70% reduktion i drivhusgasser ville udgøre ca. 10 mia. kr. alene i Danmark [30]. Hvis man medregner effekterne uden for Danmark af dansk luftforurening, er besparelserne dobbelt så store. En reduktion af husdyrproduktion vil føre til mindre klimapåvirkning via lavere metanudledning og færre sundhedseffekter pga. mindre dannelse af PM_{2,5} fra ammoniak, ligesom en kost med mindre kød vil være sundhedsfremmende, om end der ikke er et samlet regnskab for disse effekter.

Den del af effekterne, der stammer fra et fald i antallet af indlæggelser, vil være med til at mindske presset på sundhedsvæsenet. Det er mere uklart, hvad effekten bliver af, at flere dermed opnår en højere alder. Der mangler gode undersøgelser af, om disse ekstra leveår overvejende vil være med et godt helbred, eller om højere levealder snarere vil bidrage til større sygdomsbyrde senere i livet og dermed presse sundhedsvæsenet yderligere.

KONKLUSION

Luftforurening medfører et stort antal for tidlige dødsfald og øget sygelighed i Danmark og på verdensplan. Klimaforandringerne bidrager bl.a. i form af flere skovbrande og højere koncentrationer af ozon til luftforureningens skadevirkninger.

Luftforurening og drivhusgasser har i høj grad de samme kilder. Derfor er tiltag imod drivhusgasser næsten altid forbundet med mindre luftforurening og dermed med sparede samfundsudgifter. Disse kan modvirke og i nogle lande helt opveje de store udgifter, der er forbundet med at nå klimamålene.

I sundhedsvæsenet skal man forberede sig på, at der lokalt kan forekomme mange sygdomstilfælde i forbindelse med større skovbrande.

Korrespondance Jakob Bønløkke. E-mail: jahb@rn.dk

Antaget 17. august 2023

Publiceret på ugeskriftet.dk 13. november 2023

Interessekonflikter Der er anført potentielle interessekonflikter. Forfatterens ICMJE-formularer er tilgængelige sammen med artiklen på ugeskriftet.dk

Taksigelse Andrea Bønløkke, Dansk Ramazzini Center, Arbejds- og Miljømedicinsk Afdeling, Aalborg Universitetshospital, for udarbejdelse af figuren

Referencer findes i artiklen publiceret på ugeskriftet.dk

Artikelreference Ugeskr Læger 2023;185:V05230294

SUMMARY

Air pollution, climate change, and health

Jakob Bønløkke & Steffen Loft

Ugeskr Læger 2023;185:V05230294

Air pollution causes premature mortality and increased morbidity in Denmark as well as worldwide. This review investigates how the climate changes contribute to these through e.g., wildfires and increased levels of ozone. Air pollution and climate gases share sources such as burning of fossil fuels and biomass and thus a reduction in the use of these will improve health, mitigate climate change, and reduce societal costs simultaneously. The costs of actions against climate change could thus be reduced.

REFERENCER

1. Ellermann T, Nordstrøm C, Brandt J et al. LUFTKVALITET 2021 Status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark, 2023. <https://dce2.au.dk/pub/SR533.pdf> (28. aug 2023).
2. Romanello M, Di Napoli C, Drummond P et al. The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. *Lancet*. 2022;400(10363):1619-1654. doi: 10.1016/S0140-6736(22)01540-9.
3. Balmes JR. The changing nature of wildfires: impacts on the health of the public. *Clin Chest Med*. 2020;41(4):771-776. doi: 10.1016/j.ccm.2020.08.006.
4. Clifford HM, Spaulding NE, Kurbatov AV et al. A 2000 Year Saharan Dust Event Proxy Record from an Ice Core in the European Alps. *JGR Atmospheres*. 2019;124(23):12882-12900. doi: 10.1029/2019JD030725.
5. UN Environment Management Group. UN coalition to combat sand and dust storms. <https://unemg.org/our-work/emerging-issues/sand-and-dust-storms/> (28. apr 2023).
6. Jacobson TA, Kler JS, Hernke MT et al. Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide. *Nat Sustain*. 2019;2(8):691-701. doi:10.1038/s41893-019-0323-1.
7. Malashock DA, Delang MN, Becker JS et al. Global trends in ozone concentration and attributable mortality for urban, peri-urban, and rural areas between 2000 and 2019: a modelling study. *Lancet Planet Health*. 2022;6(12):e958-e967. doi:10.1016/S2542-5196(22)00260-1.
8. Anenberg SC, Moheg A, Goldberg DL et al. Long-term trends in urban NO₂ concentrations and associated paediatric asthma incidence: estimates from global datasets. *Lancet Planet Health*. 2022;6(1):e49-e58. doi:10.1016/S2542-5196(21)00255-2.
9. GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020;396(10258):1223-1249. doi:10.1016/S0140-6736(20)30752-2.
10. Stafoggia M, Oftedal B, Chen J et al. Long-term exposure to low ambient air pollution concentrations and mortality among 28 million people: results from seven large European cohorts within the ELAPSE project. *Lancet Planet Health*. 2022;6(1):e9-

- e18. doi:10.1016/S2542-5196(21)00277-1.
11. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front Public Health*. 2020;8:14. doi: 10.3389/fpubh.2020.00014.
 12. Boogaard H, Patton AP, Atkinson RW et al. Long-term exposure to traffic-related air pollution and selected health outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int*. 2022;164:107262. doi: 10.1016/j.envint.2022.107262.
 13. Holm SM, Balmes JR. Systematic review of ozone effects on human lung function, 2013 Through 2020. *Chest*. 2022;161(1):190-201. doi: 10.1016/j.chest.2021.07.2170.
 14. World Health Organization. Ambient (outdoor) air pollution, 2022. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (28. aug 2023).
 15. Lelieveld J, Pozzer A, Pöschl U et al. Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: A worldwide perspective. *Cardiovasc Res*. 2020;116(11):1910-1917. doi:10.1093/cvr/cvaa025.
 16. World Health Organization. WHO global air quality guidelines, 2021. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines> (28. apr 2023).
 17. European Commission. EU air quality standards, 2020. https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/eu-air-quality-standards_en (28. aug 2023).
 18. Xiao X, Gao M. Overview of climate change, air pollution, and human health. I: Gao M, Wang Z, Carmichael G, red. Air pollution, climate, and health: an integrated perspective on their interactions. Elsevier, 2021:3-12. doi: 10.1016/B978-0-12-820123-7.00003-6.
 19. Anderegg WRL, Abatzoglou JT, Anderegg LDL et al. Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons. 2021;118(7):2013284118. doi:10.1073/pnas.2013284118.
 20. Li CH, Sayeau K, Ellis AK. Air pollution and allergic rhinitis: role in symptom exacerbation and strategies for management. *J Asthma Allergy*. 2020;13:285-292. doi: 10.2147/JAA.S237758.
 21. Fann NL, Nolte CG, Sarofim MC et al. Associations between simulated future changes in climate, air quality, and human health. *JAMA Netw Open*. 2021;4(1):e2032064. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.32064.
 22. Gallagher CL, Holloway T. Integrating air quality and public health benefits in U.S. decarbonization strategies. *Front Public Health*. 2020;8:563358. doi:10.3389/fpubh.2020.563358.
 23. CDP Cities, States and Regions Open Data Portal. 2021 cities climate risk and vulnerability assessments. <https://data.cdp.net/Climate-Hazards/2021-Cities-Climate-Risk-and-Vulnerability-Assessm/8ihd-6z76> (11. apr 2023).
 24. Hansen J, Sato M. July temperature update: faustian payment comes due, 2021. <http://www.columbia.edu/~mhs119/Temperature/Emails/July2021.pdf> (10. apr 2023).
 25. Hansen JE, Lacis AA. Sun and dust versus greenhouse gases: an assessment of their relative roles in global climate change. *Nature*. 1990;346(6286):713-719. doi: 10.1038/346713a0.
 26. Nguyen PY, Astell-Burt T, Rahimi-Ardabili H, Feng X. Green space quality and health: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(21):11028. doi: 10.3390/ijerph182111028.
 27. Fisher JE, Loft S, Ulrik CS et al. Physical activity, air pollution, and the risk of asthma and chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2016;194(7):855-865. doi: 10.1164/rccm.201510-2036OC.
 28. Markandya A, Sampedro J, Smith SJ et al. Health co-benefits from air pollution and mitigation costs of the Paris Agreement: a modelling study. *Lancet Planet Health*. 2018;2(3):e126-e133. doi: 10.1016/S2542-5196(18)30029-9.
 29. West JJ, Smith SJ, Silva RA et al. Co-benefits of mitigating global greenhouse gas emissions for future air quality and human health. *Nat Clim Chang*. 2013;3(10):885-889. doi: 10.1038/nclimate2009.
 30. Karlsson K, Brandt J, Bønløkke J et al. Notat nr.1 Sparede helbredsomkostninger fra luftforurening kan reducere omkostningerne ved den grønne omstilling, 2020. <https://energymodellinglab.com/> (28. apr 2023).