

Alla läsare är välkomna att skicka ett bidrag till [nyhetsbrevet](#). Länkar att klicka på är [understrukna](#).
Ansvarig utgivare är SWESIAQ's styrelse. Redaktör är Anders Lundin. Besök vår hemsida www.swesiaq.se!

Nyhetsbrev nr 98

2024-01-18

SWESIAQs vår- och årsmöte i Lund i år!

Mötet blir hos [CHIE](#). Boka in **18 april**, vi återkommer med detaljer.

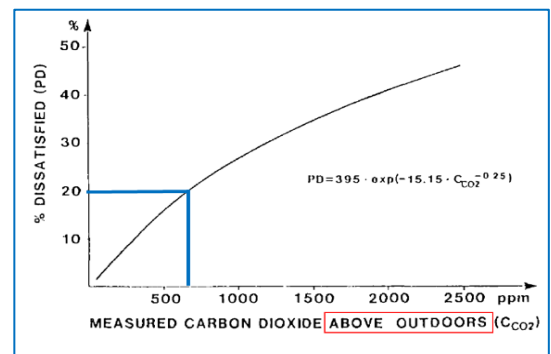
Dags att söka SWESIAQ-stipendiet!

Du kan få upp till 20 000 kr för att besöka konferens eller möte i Sverige eller utomlands om du är inskriven på universitet/högskola. Läs mer på [hemsidan](#). Skicka in din ansökan **senast 15 februari!**

Livsnödvändig, men hur skadlig är koldioxiden?

Utan koldioxid stannar fotosyntesen och allt liv dör. Samtidigt: Den ökade koldioxidhalten i atmosfären för oss gradvis närmare en klimatkatastrof. Längst ner i lungalveolerna är koldioxidhalten normalt ca 40 000 ppm. Att hyperventilera och försöka vädra ut den koldioxiden är både obehagligt och omöjligt. Men kan lungalveolernas CO₂-nivå bli för hög? Hur mycket koldioxid tål vi i omgivningsluften? Det hygieniska gränsvärdet för koldioxid är 5000 ppm och många anser att en CO₂-nivå under (eller till och med över) 5000 ppm absolut inte har någon påverkan på oss människor. Men senare tids forskning tyder på att detta inte är hela sanningen. Vi tycks kunna påverkas av betydligt lägre koncentrationer än så.

De flesta av oss vet ju att luften känns dålig när många samlas i ett rum med dålig ventilation. Grundat på forskning sedan 1800-talet (Pettenkofer), forskning som upprepats flera gånger sedan dess med liknande resultat, upplevs luftkvaliteten som allt sämre när ventilationen minskar och CO₂-nivån ökar. I en europeisk standard från 1992 har man fastslagit 1000 ppm som en övre gräns för god luftkvalitet. Vid den nivån är ca 20 % av utomstående besökare missnöjda med luftkvaliteten, se bild nedanför ([Guidelines for ventilation requirements in buildings; 1992](#)).



20 % missnöjda med luftkvaliteten vid en bioeffluent-nivå motsvarande 650 ppm CO₂. Utomhusnivån var 1992 ca 350 ppm, dvs. totalt 650 + 350 = 1000 ppm

CO₂ uppfattas i standarden bara som en indikator för de mer svårsmätta bioeffluenter som också avges av människor: aldehyder, organiska syror, olika alkoholer, merkaptaner, ammoniak, hudflagor, mm. Själva CO₂-gasen bedöms sakna betydelse och 1000 ppm ses endast som "komfort"-gräns. Att befinna sig i ett rum med högre CO₂-nivå skulle alltså vara jämförbart med att se på film sittande på en pinnstol istället för i en bekväm biofåtölj.

Det handlar inte bara om komfort

Det finns en ökande medvetenhet inom forskarvärlden om att koldioxid kanske inte är en så oskyldig gas trots allt. En amerikansk forskargrupp utsatte 24 vuxna personer för olika CO₂-nivåer under sex 6-timmars pass i ett laboratorium ([Allen m. fl.; 2016](#)). Under dagarna gjorde försökspersonerna vanligt kontorsarbete i labbet men på eftermiddagarna utförde de olika typer av *kognitiva tester* (tester av hjärnans sätt att fungera). Innemiljön varierades på ett kontrollerat sätt, bland annat genom att ren CO₂-gas tillsattes så att CO₂-nivån olika dagar hölls konstant vid resp. 550 ppm, 945 ppm eller 1400 ppm, men med i övrigt oförändrad innemiljö. De visade sig att för vissa typer av tester, varierade testresultaten stort mellan de olika dagarna. För tester som kräver avancerat tänkande ("strategiskt tänkande", "utnyttjande av information") syntes en mycket tydlig försämring vid de högre CO₂-

nivåerna, särskilt vid 1400 ppm. Samtidigt hade CO₂-nivån ingen större betydelse för andra av testerna.

En annan amerikansk forskargrupp har gjort en sammanställning av flera av de studier som tyder på kognitiv påverkan av CO₂ ([Karnauskas m.fl.; 2020](#)). I artikeln finns en talande bild: Sedan åtminstone 800 000 år och fram till 1800-talets industriella revolution, har CO₂-nivån i atmosfären pendlat mellan 200-300 ppm, för att därefter börja accelerera upp till nuvarande ca 420 ppm. Människan är alltså inte utvecklad för de nuvarande CO₂-nivåerna i utomhusluften. Ökande CO₂-nivåer *utomhus*, kommer givetvis att leda till högre nivåer även *inomhus*.

Om de värsta scenarierna slår in – och utomhusnivåerna vid sekelskiftet når upp till ca 900 ppm – skulle detta medföra att inomhusnivåerna ofta ligger runt 1400 ppm, dvs. enligt det sämsta alternativet i Allens studie. Karnauskas har använt Allens studie för ett tankeväckande räkneexempel. Om vi extrapolerar vår genomsnittliga CO₂-nivå inomhus idag, till 1400 ppm vid sekelskiftet, skulle detta – enligt Allens data – medföra en cirka 50 %-ig reduktion av vår förmåga att klara komplexa tankeuppgifter. Och Karnauskas går vidare: I början av 1800-talet var utomhusnivån ca 280 ppm. Nu 200 år senare, är den drygt 400 ppm (och ökande). Utgående från Allens studie har vår förmåga till komplext tänkande – pga. ökande CO₂-nivåer utomhus – försämrats med ca 8 %.

Ren koldioxid i "vanliga" koncentrationer

Naturligtvis kan man inte förutsäga människosläktets framtid bara genom att utgå från hur 24 personer klarade av tester i ett labb. Men Karnauskas tar upp flera liknande studier som pekar åt samma håll och som visar på sämre tankeförmåga, även vid CO₂-nivåer som bara ligger något över "normala" nivåer. En annan forskargrupp gjorde liknande försök och med samma typ av tester som i Allens studie, men med endast 2,5 timmar långa exponeringar. CO₂-nivåerna var 600, 1000 resp. 2500 ppm, där de högre nivåerna åstadkoms med tillsats av ren CO₂ ([Satish m.fl.; 2012](#)). Även här blev det stor skillnad mellan olika typer av tester, vissa enklare tester klarades lika bra eller t.o.m. bättre vid de högre CO₂-nivåerna ("fokuserad aktivitet", "informationssökning"). Men för de mer komplexa testerna ("initiativförmåga", "strategiskt tänkande") blev resultaten mycket och tydligt försämrade med ökad CO₂-nivå, särskilt vid 2500 ppm.



En amerikansk studie undersökte piloters agerande vid stressande situationer i en flygsimulator och vid tre olika CO₂-nivåer: 700, 1500 och 2500 ppm. Piloterna fungerade signifikant bättre vid de lägre halterna jämfört med 2500 ppm ([Cao m.fl.; 2019](#)).

Hur människokroppen reagerar vid måttligt förhöjda CO₂-nivåer

Vid varje andetag byts endast ca 15 % av lungalveolernas luft ut. CO₂-nivån i lungalveolerna är normalt ca 40 000 ppm men ökar och minskar något vid varje andetag. I detta sammanhang brukar man använda ett annat mått på CO₂-nivån, *partialtrycket* pCO₂, som kan mätas i mm Hg. När man börjar att andas ut är pCO₂ i det blod som når lungorna som högst, ca 46 mm Hg.

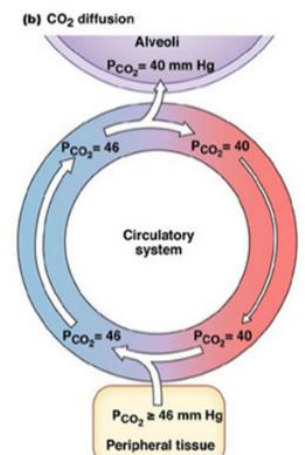
Koldioxiden diffunderar snabbt till lungalveolerna så att partialtrycket ökar något och är som högst när luften andas ut. När man sedan andas in omgivningsluft med mycket lägre CO₂-nivå, sänks alveolernas CO₂-nivå något. Ett normalt värde på pCO₂ efter inandning – både i lungalveolerna och i artärblodet – är ca 40 mm Hg. Kroppen är byggd för *homeostas*, dvs. att koncentrationerna av olika ämnen hela tiden hålls konstanta med små variationer kring ett jämviktsvärde. P_{CO₂} i blodet varierar alltså normalt mellan 40-46 mm Hg. Om nu CO₂-nivån i omgivningsluften höjs, t.ex. från 400 till 1000 ppm, kommer P_{CO₂} att öka och bli något högre än 40 mm Hg – det gäller både i alveolerna och i artärerna. Koldioxid är en svagt sur gas. Den löser sig och reagerar delvis med vatten i blodplasman så att vätejoner och bikarbonatjoner bildas ([Patel m.fl.; 2023](#)):



När P_{CO₂} ökar, kommer alltså även vätejonkoncentrationen att öka, vilket innebär att blodet blir surare och pH-värdet sjunker. Men pH-värdet bör ligga mellan pH 7,35-7,45. Andningsfrekvensen kommer därför att öka automatiskt för att koldioxidöverskottet i blodet ska vädras ut och pH-värdet stabiliseras. På så sätt försöker kroppen kompensera för omgivningsluftens ökade CO₂-nivå. Även njurarna bidrar genom att reglera mängden bikarbonat i blodet.

Koldioxidretention, hyperkapni – känsliga grupper

Om kroppen inte lyckas reglera pH-värdet och CO₂-nivån i blodet, kommer den genomsnittliga CO₂-nivån att öka. Detta kallas för *koldioxidretention* (retention betyder ungefär kvarhållande). Om P_{CO₂} i artärblodet är högre än 42 mm Hg, kallas detta med en medicinsk term för *hyperkapni* ([Patel m.fl.; 2023](#)). Beroende på graden och varaktigheten, kan hyperkapni få mer eller mindre allvarliga hälsokonsekvenser. I flera studier har man sett samband mellan förhöjda CO₂-nivåer i inandningsluften och måttlig koldioxidreten-



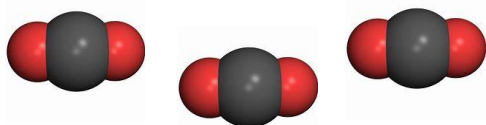
tion (någon mm Hg). Forskare oroar sig för långsiktiga effekter av detta, särskilt mot bakgrund av ökade utomhusnivåer och med hänsyn känsliga grupper. Barn och ungdomar är särskilt beroende av god luftkvalitet när de växer. Andra känsliga grupper är personer med lungsjukdomar, samt äldre som kan ha problem med regleringen av pH-värde och CO₂-nivå ([Jacobson m.fl.; 2019](#)).

Hälsoeffekter av förhöjda koldioxidnivåer

Men människan är ju sedan urminnes tider van vid koldioxid och har säkert ofta levt och lever i trånga utrymmen där man lagar mat och värmer sig över öppen eld. Säkert har många människor utsatts för höga koldioxidnivåer utan att skadas? Vi vet ju också att ubåtsbesättningar och astronauter kan utsättas höga nivåer utan att ta uppenbar skada ([Karnauskas m.fl.; 2020](#)). Forskningen tyder på att koldioxidens påverkan på hjärnan inte är enkelt förutsägbar. Vissa uppgifter tycks hjärnan klara utmärkt, trots höga nivåer. Den tycks även kunna vänjas vid att tåla mer. Varför ger olika forskningsstudier olika resultat?

Hur skulle man då kunna förklara att även måttligt förhöjda CO₂-nivåer påverkar hjärnan? Vissa studier har visat på en snabb ökning av vissa *inflammationsmarkörer* i blodet redan vid måttligt ökad CO₂-nivå och en hypotes är att en mild inflammation försämrar hjärnans sätt att fungera ([Jacobson m.fl.; 2019](#)). En annan hypotes handlar om syrebrist. En del av blodets koldioxid binds till hemoglobinet i de röda blodkropparna. När CO₂-mängden i hemoglobinet ökar och blodets pH-värde sjunker, försväras samtidigt hemoglobinet förmåga att transportera syre. Hjärnan behöver mycket syre: ca 20 % av kroppens syre förbrukas av hjärnan. Syret fördelas automatiskt i förhållande till behovet i olika delar av hjärnan. Försämrad kognitiv funktion vid förhöjd CO₂-nivå skulle alltså kunna bero på syrebrist (*hypoxemi*) i hjärnan ([Karnauskas m.fl.; 2020](#)).

Vid studier har man sett samband mellan koldioxidretention och inte bara med sämre förmåga att klara komplicerat tänkande, utan även med ökad sömnhet och möjligen förvirring, rastlöshet och ångest ([Karnauskas m.fl.; 2020](#)). En del av de här effekterna kan bero på de lägre pH-värdena. I en studie mättes bikarbonatkoncentrationen i amerikaners blod. Den hade ökat med ca 6 % mellan år 2000 och år 2012. Detta skulle kunna förklaras med allmänt högre CO₂-nivåer i omgivningsluften (se reaktionsformeln ovan). Tänkbara *kroniska* effekter av lägre pH-värden är upplagring av kalciumbikarbonat i njurarna, urlakning av skelettet och osteoporos ([Jacobson m.fl.; 2019](#)).



Andra bioeffluenter än koldioxid

I hem där man lagar mat eller värmer huset med hjälp av öppen eld riskerar man att inte bara utsättas för koldioxid, utan också för andra skadliga förbränningsprodukter.



Dessa ämnen – sot, partiklar och oförbrända (cancerogena) restprodukter – kan ha allvarligare hälsoeffekter än koldioxiden. Koldioxiden i människors utandningsluft åtföljs av bioeffluenter som delvis kan detekteras av luktsinnet och också kan ha hälsoeffekter. Dessa hälsoeffekter går inte att skilja från effekterna av ren CO₂-gas. Samtidigt är CO₂ en bra indikator på övriga bioeffluenter: Om CO₂-nivån fördubblas, kommer också nivåerna av övriga bioeffluenter att ungefärligen fördubblas. När man undersöker effekter av förhöjda CO₂-nivåer, är det alltid nödvändigt att veta varifrån koldioxiden kommer.

Eftersom man känner till hur mycket CO₂ som en normal människa andas ut per tidsenhet, är det möjligt att räkna om en viss CO₂-nivå till ett motsvarande luftflöde per person. Detta gäller så länge det inte finns andra CO₂-källor. Det har gjorts flera studier i verkliga miljöer där de förhöjda CO₂-nivåerna orsakats av människor. Dessa studier visar på bland annat dåliga resultat vid kognitiva tester, försämrade arbets- och skolprestationer samt ökad sjukfrånvaro.

En forskargrupp lät elever i 100 amerikanska skolor genomföra standardiserade matte- och lästester ([Haverinen-Shaughnessy m.fl.; 2010](#)). Luftflödet *per elev* varierade mellan skolorna: från 0,9 l/s (motsvarande hela 6600 ppm CO₂!) upp till 7,1 l/s. Det kan jämföras med det svenska minimikravet 7 l/s/person, vilket motsvarar ca 1200 ppm CO₂. Undersökningen visade att testresultaten förbättrades linjärt och med ca 2,8 % för varje ökning av luftflödet med 1 l/s/elev. Luftväxlingen var mycket dålig i dessa skolor och det skulle varit intressant att göra samma tester i skolor med bättre luftväxling och CO₂-nivåer ner mot 600 ppm.



I en multinationell undersökning undersöktes under ett års tid hur 302 kontorsarbetare reagerade på olika nivåer av koldioxid och partikelhalt ([Laurent m.fl.; 2021](#)).

Försökspersonerna arbetade i 42 byggnader, i 30 städer och i 6 länder världen över. Man skötte normalt sitt vanliga arbete, men under ca 15 minuter per vecka utförde man kognitiva tester via en app i mobiltelefonen. Sensorer i varje kontorsrum mätte dels CO₂-nivå, dels partikelhalt (PM_{2,5}). Vid fasta intervall, eller när sensorerna visade särskilt höga eller låga värden, signalerade appen att det var dags att göra ett test. Det visade sig att både partikel- och CO₂-nivå påverkade testresultaten signifikant. Det geometriska medelvärdet av CO₂-nivån för alla 302 deltagare var 723 ppm CO₂, alltså inte särskilt högt. Testresultaten försämrades tydligt med ökande CO₂-nivå när det gällde det mer krävande Stroop-testet. Detta gick ut på att man snabbt skulle ange rätt färg när text och färg inte överensstämde.

GREEN
What is the color?

Flera undersökningar har gjorts av hur luftväxlingen i sovrum påverkar sömnkvaliteten ([Akimoto m.fl.; 2021](#)). Det sammanvägda resultatet av undersökningarna tyder på att – för god sömnkvalitet – kan det krävas ca 10 l/s per person, motsvarande högst 750-800 ppm CO₂ ([Wargocki; CHIE, recorded seminar; 2023](#)).

Sammanfattning:

Även måttligt förhöjda koldioxidnivåer påverkar oss!

När det gäller hälsoeffekter av måttligt förhöjda CO₂-nivåer finns det mycket som är oklart och behöver undersökas bättre. Det finns exempel på motsägelsefulla resultat. Men flera review-artiklar (sammanfattningar av forskningsstudier) kommer till ungefär samma slutsatser: För bra luftkvalitet bör CO₂-nivån inte överstiga 1000 ppm ([Azuma m.fl.; 2018](#), [Lowther m.fl.; 2021](#)); vid sömn kanske ännu lägre. En preliminär övre gräns för att (i viss mån) undvika hälsoeffekter är 1500 ppm CO₂ eller 4 l/s per person ([Carrer m.fl.; 2018](#), [Lowther m.fl.; 2021](#)). Koldioxiden kan framförallt misstänkas ha effekter på hjärnans sätt att fungera och försämra möjligheterna att lösa komplicerade tankeuppgifter, den misstänks orsaka sömnhet och dålig sömnkvalitet, kanske även skapa oro, förvirring, ångest och har möjligen kroniska effekter.



Ungefär 36 % av invandrare från utomeuropeiska länder är trångbodda. Hur höga är CO₂-nivåerna i de hemmen och hur inverkar dessa nivåer på möjligheterna att lära sig ett nytt språk, att lyckas i skolan och få ett bra jobb?

Koldioxidens effekter på hjärnan kan vara svåra att lägga märke till i det verkliga livet – det finns många orsaker till att man är sömnhet eller inte orkar tänka klart. Däremot har vi lättare att notera en känsla av dålig, instängd luft när många människor samlas och luftväxlingen är dålig; en luktupplevelse orsakad av olika bioeffluenter. Kanske borde vi ta dessa signaler från vår kropp på större allvar?



Det har blivit allt viktigare att spara på energi – bl.a. för att undvika onödiga koldioxidutsläpp. Men om vi tror att CO₂-nivån påverkar hur våra hjärnor fungerar, bör vi också dra konsekvenserna av detta. Energibesparingar får inte gå ut över den viktiga luftväxlingen hemma, i skolan eller på arbetet.

Vår tids utmaningar kräver skärpta hjärnor, vi måste kunna klara mer komplicerade uppgifter än att hänga med i olika nyhetsflöden!

En något modifierad version av denna artikel har publicerats i Energi & Miljö nr 12 2023.

[Anders Lundin](#)

På gång inom inomhusmiljöområdet

18 april i Lund

SWESIAQs vår- och årsmöte hos [CHIE](#) i Lund

Vi återkommer med detaljer.

22-25 april i Stockholm

RoomVent:

Internationell konferens om ventilation och inomhusmiljö

Läs mer [här](#).

7-11 juli i Honolulu, Hawaii

Indoor Air 2024 - ISIAQs internationella inomhusmiljökonferens

Läs mer [här](#).

Säkert har du funderingar över mycket inom inomhusmiljöområdet. Skriv ned dina tankar! Informera om aktiviteter som är på gång eller intressanta rapporter som du läst eller skrivit! Skriv till nyhetsbrevet@swesiaq.se (samma adress om du vill *avbryta prenumerationen*)