

Analyse | kraka

13. december 2017

Uforløst potentiale ved bedre indeklima i folkeskoler?

Af Regitze Wandsøe, Philip Henriks og Bjørn Tølbøll

Indeklimatet udgøres af mange forskellige forhold såsom luftkvalitet, termiske forhold samt lys og lydforhold. Dårligt indeklima kan påvirke indlæring og performance direkte i form af lavere udbytte af undervisning eller indirekte i form af flere sygedage og dermed færre dage med undervisning. En gennemgang af den nuværende viden på området viser, at dårligt indeklima kan have en signifikant effekt på folkeskoleelevers afkast af undervisningen og potentielt også forbedre de offentlige finanser.¹

- International såvel som dansk forskning viser overordnet set, at dårligt indeklima har en direkte signifikant negativ effekt på elevernes performance i folkeskolen. Fx i form af flere fejl i kognitive tests, lavere gennemførelses hastighed ved problemløsning samt højere dumpeprocent.
- Dårligt indeklima har ligeledes en signifikant negativ effekt på sygefraværet for undervisere i folkeskolen. Det kan føre til en yderligere effekt af dårligt indeklima.
- En måde at måle kvaliteten af indeklimatet på er ved CO₂-koncentrationen. De fleste af de undersøgte folkeskoler i Danmark har en CO₂-koncentration, som er højere end det anbefalede niveau.
- Såfremt eleverne i den danske folkeskole klarer sig dårligere, end de potentielt kunne, pga., at de har gået i en skole med dårligt indeklima, så er der risiko for, at de ikke realiserer deres fulde potentiale. Det kan føre til et samfundsmæssigt tab.
- Forsøg på kvantificering af det samfundsmæssige potentiale ved forbedringer af indeklimatet viser, at hvis indeklimatet i de danske folkeskoler forbedres, så det kommer på niveau med det anbefalede niveau i Sverige, så er der indikationer af, at BNP kan øges med i gennemsnit omkring 825 mio. kr. årligt konservativt set (2016-priser). Denne gevinst bør dog holdes op mod omkostningerne ved at nå op på dette niveau.

¹ Notatet er udarbejdet på opfordring af Dansk Byggeri.

Anbefaling:

Der er sandsynligvis en gevinst i form af generelt større undervisningseffekt og dermed potentielt forbedret vidensniveau og arbejdskraftproduktivitet ved et forbedret indeklima. Dette må dog holdes op mod omkostningen ved at forbedre indeklimaet. Nærværende analyse identificerer ikke det samlet set mest hensigtsmæssige indeklimaniveau. Men eksistensen af et sandsynligt betrageligt samfundsøkonomisk tab pga. ringe indeklima bør være tilstrækkeligt til at iværksætte en grundigere undersøgelse af de samfundsøkonomiske effekter af et bedre indeklima i folkeskolerne.

Kontakt

Økonom
Regitze Wandsøe
Tlf. 31404252
E-mail reg@kraka.org

1. Baggrund

Hvad er indeklima?	Indeklimaet udgøres af mange forskellige forhold såsom luftkvalitet, termiske forhold samt lys og lydforhold. Dårligt indeklima kan påvirke indlæring og performance direkte i form af lavere udbytte af undervisning eller indirekte i form af flere sygedage og dermed færre dage med undervisning. ²
Elever tilbringer 22 pct. af deres tid i skolen	Folkeskolereformen fra 2014 har forlænget elevernes skoledage og i dag tilbringer de ældste elever omkring 1.400 timer om året i skolen, svarende til 35 timer ugentligt (inkl. pauser). ³ Dette giver anledning til at undersøge, hvorvidt eleverne får det optimale ud af tiden brugt i klasselokalerne.
Anbefalet CO₂-koncentration er 1.000 ppm	Indeklimaets kvalitet bliver i litteraturen ofte vurderet ud fra CO ₂ -koncentration. CO ₂ -koncentrationen måles i parts per million (ppm.), som angiver antallet af CO ₂ -molekyler per million luftmolekyler. Arbejdstilsynet anbefaler en grænseværdi for CO ₂ -koncentrationen i lokaler på 1.000 ppm., svarende til 0,1 pct. af luftens indhold. Arbejdstilsynet kalder luftskiftet utilstrækkeligt, såfremt CO ₂ -koncentration i mere end korte perioder overstiger 2.000 ppm. ^{4,5}
Optimal temperatur	Temperaturen og antallet af skimmelsvampe anvendes desuden i visse undersøgelser som mål for kvaliteten af indeklimaet. ⁶ En passende temperatur ved let fysisk aktivitet i fx skoler er ifølge Arbejdstilsynet 20-22 grader. Ved stillesiddende arbejde og normale klima- og arbejdsforhold må temperaturen ikke overstige 25 grader. ⁷
Tre typer af ventilations-systemer	I litteraturen findes der en tæt sammenhæng mellem CO ₂ -koncentrationen og ventilations-system. ⁸ Der er tre kategorier af ventilationssystemer: naturlig ventilation, mekanisk udsugning og mekanisk udsugning og indblæsning. Naturlig ventilation foregår primært ved manuel udluftning gennem døre, vinduer el.lign. Ved mekanisk udsugning er der en ventilator, der suger luften ud. Ved mekanisk udsugning og indblæsning sørger ventilatoren også for, at ny luft kommer ind i lokalet. ^{9,10}
Analysens struktur	I det følgende foretages der en gennemgang af den nuværende viden på området for indeklimaet i de danske folkeskoler. Indledningsvis gennemgås status for indeklimaet i skolerne. I afsnit 3 gennemgås effekterne af dårligt indeklima på elevernes faglige performance, og i afsnit 4 præsenteres de makroøkonomiske effekter af et forbedret indeklima i de danske folkeskoler.

2. Status for indeklimaet i folkeskolen

90 pct. af folkeskolerne er bygget for ventilationskrav	I Danmark var der i 2015 1.362 folkeskoler (inklusive underafdelinger). Flere end 80 pct. af folkeskolerne er opført før 1980 og cirka halvdelen af folkeskolerne er bygget i perioden 1960 til 1980. Det var Bygningsreglementet fra 1995, der for første gang stillede krav til bygningernes ventilation. 90 pct. af folkeskolerne er bygget før disse krav blev indført. ¹¹
--	---

² Center for Indeklima og Energi (2016).

³ Se Undervisningsministeriet (2017).

⁴ Arbejdstilsynet (2008).

⁵ Til sammenligning er CO₂-koncentrationen udenfor omkring 380 ppm og indenfor er koncentrationen typisk mellem 500-2.500 ppm. Hvis der er høj personbelastning eller lokalerne er underventileret er CO₂-koncentrationen ofte over 2.500 ppm (Toftum et al., 2013).

⁶ Se fx Wyon (1969), Haverinen-Shaughnessy og Shaughnessy (1998) og Park (2016).

⁷ Arbejdstilsynet (2008).

⁸ Se fx Kjeldsen et al. (2013).

⁹ Arbejdstilsynet (2008).

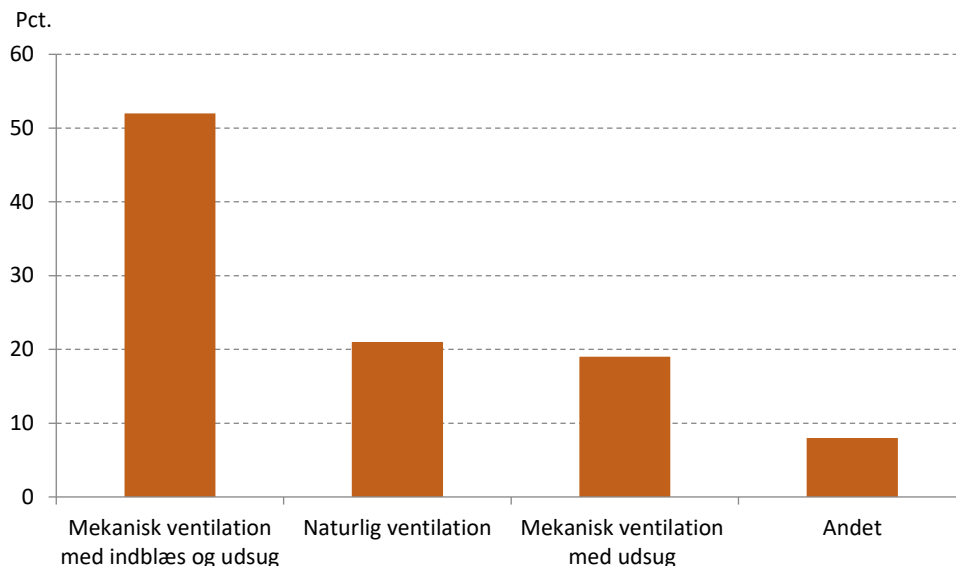
¹⁰ Se Kjeldsen et al. (2013) for en uddybende beskrivelse af typer af ventilationssystemer.

¹¹ Center for Indeklima og Energi (2016).

21 pct. af skolerne har naturlig ventilation

En undersøgelse blandt 295 skoler viser, at den hyppigste ventilationsform er mekanisk ventilation med indblæs og udsug og at 21 pct. af skolerne har naturlig udluftning, jf. Figur 1.¹²

Figur 1 Andelen af forskellige ventilationsformer i de danske folkeskoler



Anm.: Figuren viser den primære ventilationsform i 295 skolars klasseværelser.
 Kilde: Egen opstilling baseret på Center for Indeklima og Energi (2016).

En omfattende måling af indeklimaet i DK viste ...

En af de mest omfattende målinger af indeklimaet i de danske folkeskoler er det såkaldte masseeksperiment. Masseeksperimentet er en omfattende måling, hvor skoleklasser tilmelder sig eksperimentet og foretager derefter selv målinger af skolens lokaler. Eksperimenterne er en del af Naturvidenskabsfestivalen, der hvert år sætter fokus på forskellige områder i folkeskolen. I 2014 deltog og indsamlede 785 klasser på 262 skoler data om blandt andet lokalernes CO₂-koncentration og oplysninger om lokalernes øvrige forhold såsom ventilationsanlæg, rummets størrelse og skolens omgivelser.¹³

Der er ingen grund til at tro, at billedet ikke er repræsentativt

Da klasserne ikke er tilfældigt udvalgte, kan det være nødvendigt at overveje, om der eventuelt kan være et selektions bias ved de klasser, der er blevet målt. Der er således en risiko for, at de, der melder sig til eksperimentet, overvejende har et særligt ønske om at måle og forbedre indeklimaet grundet et ringe, initialt niveau. Desuden er der risiko for, at de klasser, der har meldt sig til, generelt er opmærksomme og i forvejen yder en indsats for at opretholde et tilfredsstillende indeklima. Toftum et al. (2015) har derfor foretaget målingen på 88 tilfældigt udvalgte skoler i 2009. Her finder han nogenlunde samme niveau af skoler, som har CO₂-niveau over det anbefalede, som Masseeksperimentet 2009 fandt.¹⁴

... at CO₂-koncentrationen ofte er for høj i klasselokalerne

Målingerne viste, at lokalerne i folkeskolerne ofte har en CO₂-koncentration, der overstiger Arbejdstilsynets anbefalinger på 1.000 ppm. Konkret fandt man, at CO₂-koncentrationen oversteg anbefalingerne i 60 pct. af målingerne.¹⁵

¹² Resultater fra Masseeksperimentet 2014 indikerer dog en anderledes fordeling, nemlig 35, 23 og 42 pct. med hhv. indblæsning og udsugning, kun indblæsning og naturlig ventilation. Denne måling omfatter imidlertid kun skoler som var en del af Masseeksperimentet i 2014.

¹³ Clausen et al. (2014).

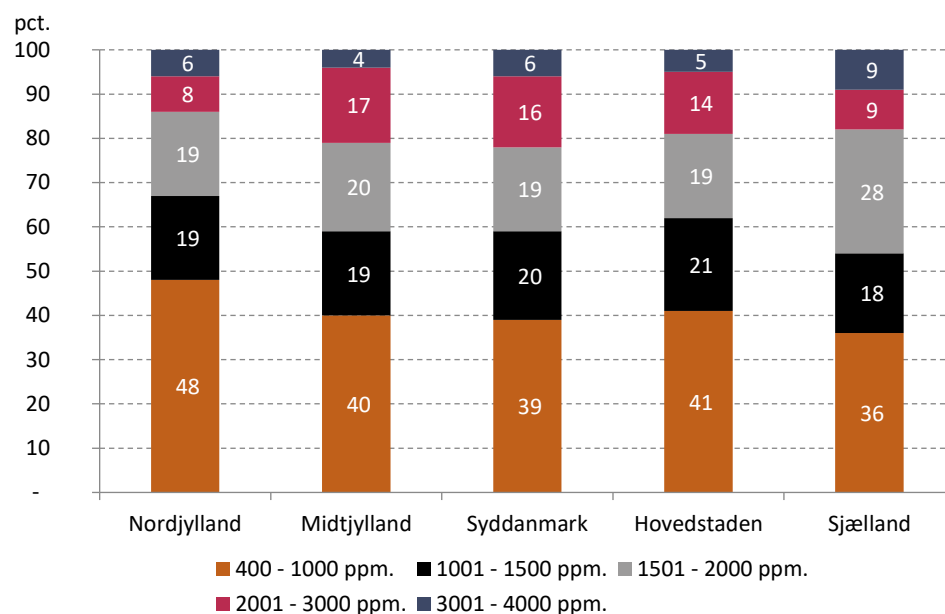
¹⁴ Toftum et al.s måling er foretaget i 2009 og sammenlignet med data fra Masseeksperimentet fra 2009 – men resultatet bør være det samme for 2014.

¹⁵ Målingerne blev foretaget i slutningen af en lektion, hvor døre og vinduer var holdt lukkede for at simulere en vinterlig tilstand i lokalet.

Indeklimaet er værst i Region Sjælland

Skolerne i Region Sjælland havde overordnet et dårligere indeklima målt ved CO₂ ift. de resterende Regioner, jf. Figur 2. Konkret var CO₂-koncentrationen kun under den anbefalede grænse i 36 pct. af klasserne i Region Sjælland. Region Nordjylland havde flest målinger inden for den anbefalede grænse. Her var 48 pct. af målingerne under den anbefalede grænse. I klasselokaler med kun naturlig ventilation havde knap 80 pct. af lokalerne en højere CO₂-koncentration end det anbefalede.¹⁶

Figur 2 CO₂-koncentrationen i danske klasselokaler



Anm.: Ppm. står for parts per million og angiver her, hvor stor en andel af luften, der består af CO₂. Hver serie indikerer derfor et interval for CO₂-koncentrationen, og værdien herfor angiver andelen af klasser, der har målt en koncentration i dette interval.

Kilde: Clausen et al. (2014).

For høje temperaturer er mindre udbredt

I 2011 foretog Børnerådet en spørgeskemaundersøgelse, hvor 927 børn fra 50 danske skoler besvarede spørgsmål om indeklima. Undersøgelsen fandt, at mellem 36 og 49 pct. af eleverne oplevede, at det hver dag eller et par gange om ugen var for varmt i klasseværelset, at luften var dårlig, eller at det trak. Herudover svarede 42 pct. af børnene, at de havde svært ved at koncentrere sig, når det var for varmt.¹⁷ Det skal dog bemærkes, at dette var en subjektiv vurdering af temperaturen. Masseeksperimentet fra 2014 viste på konkrete temperaturmålinger, at 87 pct. af temperaturmålingerne på skolerne lå i det acceptable område, svarende til mellem 20 og 26 grader.^{18,19} For høje temperaturer er således ikke umiddelbart et lige så stort problem, som for høje CO₂-koncentrationer i de danske folkeskoler.

Der renoveres oftest af energibesparende hensyn

I perioden 2009 til 2014 brugte de danske kommuner 18 mia. kr. på renovering og opførelse af nye folkeskolebygninger. Masseeksperimenterne fra 2014 sammenholdt med tidligere målinger fra Masseeksperimenterne fra 2009 indikerer, at der i denne periode ikke har været en forbedring af indeklimaet. En af årsagerne kan være, at kommunernes fokus er på andet end forbedring af indeklimaet. Inden for de sidste 10 år har 21 pct. af renoveringstil-

¹⁶ Se Clausen et al. (2014).

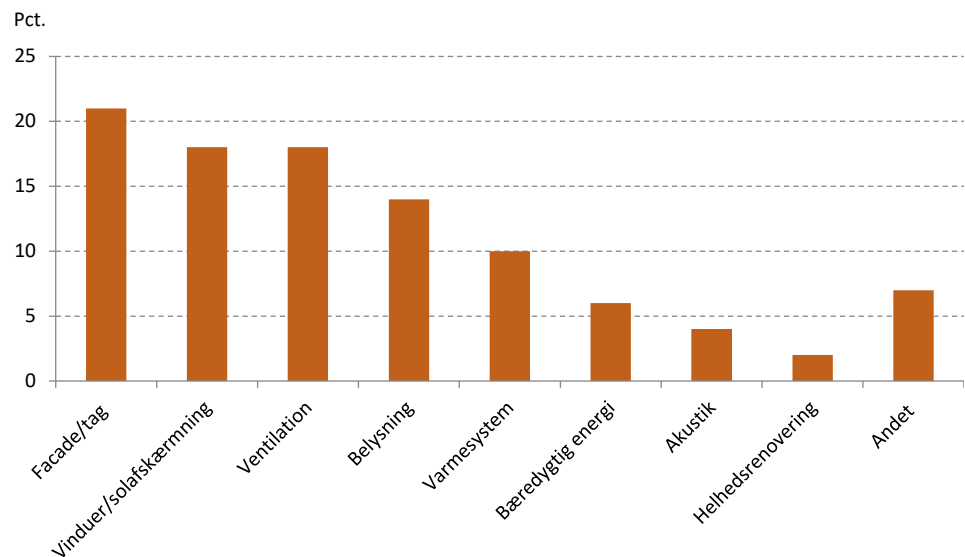
¹⁷ Kjeldsen et al. (2013).

¹⁸ Clausen et al. (2014).

¹⁹ Det skal bemærkes, at dette ikke er i direkte overensstemmelse med det anbefalede niveau fra Arbejdstilsynet.

tagene været facade/tag, 18 pct. har været vinduer/solafskærmning, 18 pct. har været ventilation og 14 pct. har været belysning, jf. Figur 3. Dette indikerer ifølge Toftum et al. (2016), at kommunerne fokuserer på renovering af mindre omfattende tiltag, som giver en høj rentabilitet og ikke kun forbedring af indeklimaet. Herudover var 25 pct. af renoveringerne af ventilation foretaget efter påbud fra Arbejdstilsynet.²⁰

Figur 3 Fordeling af renoveringspraksis



Anm.: Fordelingen angiver renoveringspraksis på 366 skoler fordelt på 45 kommuner inden for de sidste 10 år (alle regioner er repræsenteret). Informationerne er indhentet for nogle af kommunerne via spørgeskema og for andre via gennemgang af dagsordner, referater mv. (jf. Center for Indeklima, 2016). Figuren viser fordelingen af 929 renoveringstiltag.

Kilde: Center for Indeklima (2016).

3. Effekter af dårligt indeklima

Fokus i afsnittet

Flere danske og udenlandske studier har estimeret effekten af et godt indeklima på elevernes faglige præstationer. Dette afsnit forsøger at afdække den nuværende viden på området.

Indeklima-symptomer

En lang række symptomer, der er blevet forbundet med indeklimaets påvirkninger betegnes som indeklimasymptomer. Det kan fx være slimhindeirritation i øjne, næse og svælg, hudirritation eller almensymptomer som tunghedsfornemmelse i hovedet, træthed, koncentrationsbesvær og utilpashed. Der kan være mange årsager til disse symptomer – og de skyldes sjældent en bestemt påvirkning – og de kan også forårsages af andet end indeklimaet.²¹

Dårligt indeklima kan påvirke indlæring ad to kanaler

Dårligt indeklima kan påvirke folkeskolens elever ad to kanaler: direkte og indirekte. Den direkte påvirkning er ved at fokus fjernes fra skolearbejde ved gene, distraktion eller reduceret motivation. Indirekte kan indeklimaet påvirke indlæringen igennem negative helbredseffekter som kan lede til øget fravær og derved reduceret indlæring (Kjeldsen et al., 2013).

²⁰ Se Toftum et al. (2016).

²¹ Se Kjeldsen et al. (2013).

Mekanismer for påvirkning

Det termiske miljø påvirker performance igennem mindst seks mekanismer ifølge Wargocki og Wyon (2017): opmærksomhed og distraktion, motivation til at yde en indsats, begejstring, manuel fingerfærdighed, neurobehaviorale symptomer, akutte sundhedsmæssige symptomer, jf. Figur 4.

Figur 4 Mekanismer som termisk miljø påvirker kognitiv performance igennem



Anm.: Figuren viser mekanismer, som termisk miljø påvirker mentalt arbejde igennem.
Kilde: Wargocki og Wyon (2017).

Samme for luftkvalitet

Indendørs luftkvalitet påvirker performance igennem samme mekanismer som det termiske miljø gør, jf. Figur 4.

Relation til sygdomme

Indeklimaet kan herudover have relation til egentlige sygdomme som fx allergiske luftvejslidelser og luftvejsinfektioner. I lokaler med utilstrækkelig ventilation med mange mennesker er der ligeledes en øget risiko for overførsel af luftbåren smitte mellem mennesker – som fx smitte af forkølelse, ondt i halsen og mellemørebetændelse.²²

Effekt af højere temperaturer

Effekt af højere temperaturer på præstationer

Flere studier har et bud på omfanget af påvirkningen af temperaturen i et lokale på personer, der arbejder heri. Overordnet set er der to typer af studier på området: 1. Studier, hvor der kontrolleres for baggrundskarakteristika mv. i regressionsanalyser. 2. Studier, hvor der opstilles eksperimenter med en kontrol og en treatmentgruppe.

1. Negativ effekt når der kontrolleres for baggrund mv.

Haverinen-Shaghnessy og Shaughnessy (2015) har foretaget et studie af sammenhængen mellem temperatur og elevers resultater i standardiserede testresultater på 3.109 elever fordelt på 140 klasselokaler i 70 skoledistrikter. Her finder de, at en reduktion i temperaturen på 1 grad fører til en stigning i matematikscoren inden for det undersøgte interval på 20-25 grader. I analysen kontrolleres blandt andet for lærernes kompetencer og socioøkonomisk baggrund for eleverne. Ifølge forfatterne viser undersøgelsen, at der er mulighed for at øge akademiske præstationer for elever i grundskolen såfremt termisk komfort forbedres. Ikke desto mindre påpeger forfatterne, at der er behov for yderligere studier for at kunne bestemme kausaliteten af de observerede sammenhænge og hvorvidt man kan generalisere resultaterne til andre lande, aldersgrupper mv.²³

²² Se Kjeldsen et al. (2013).

²³ Haverinen-Shaghnessy og Shaughnessy (2015).

Et nyere studie af 4,6 mio. high school afsluttende eksaminer fra NYC foretaget af Park (2016) indikerer, at varmostress på kort sigt signifikant kan reducere eksamensperformance og på længere sigt kan reducere uddannelsesniveau. Konkret finder Park, at sandsynligheden for at dumpe er 12,3 pct. højere, når temperaturen er 32 grader ift. hvis den var 22 grader, jf. Tabel 1. Flere varme dage i løbet af skoleåret kan ligeledes reducere den samlede eksamenspræstation med 2,2 pct., ifølge Park.

2. Eksperimenter viser samme effekt

Wargocki og Wyon (2017) rapporterer om flere eksperimenter, der viser effekten af godt og dårligt indeklima på elevers færdigheder i prøver. To eksperimenter af Wyon (1970) blev udført på svenske elever. I det ene skulle tre parallelklasser af 9-10-årige klare en prøve under temperaturer på hhv. 20, 27 og 30 grader. Herudover blev fire klasser af 11-12-årige elever ligeledes sat til at udføre en prøve under temperaturer på 20 og 30 grader. Begge aldersgrupper klarede opgaverne betydeligt dårligere ved de højere temperaturer i forhold til ved 20 grader. Der blev observeret helt op til 30 pct. ringere præstationer i visse opgaver under de høje temperaturer. Ifølge Wargocki og Wyon (2013) har eksperimenter vist forskelle i, hvordan drenge og piger opfører sig, når lokalet bliver varmt. Pigerne bliver mere rastløse, men de er gode til at arbejde videre. Drengene opfører sig mere udisciplineret, hvilket forstyrrer deres eget og de andre elevers arbejde.²⁴

Tabel 1 Effekt af højere temperaturer

Studie	Type undersøgelse	Formål	Effekt og estimat	Kilde til effekt	Land
Haverinen-Shaughnessy og Shaughnessy (2015)	Regressionsanalyse	At undersøge sammenhængen mellem temperatur og præstation.	Ved at sænke temperaturen med 1 grad blev resultaterne i matematik 12-13 point bedre. Til sammenligning havde eleverne en gennemsnitlig score i matematik på 2.286 point.	Temperatur	USA
Park (2016)	Regressionsanalyse	At undersøge sammenhængen mellem temperatur og præstation.	Hvis temperaturen er 32 grader vs. 22 grader er sandsynligheden for at dumpe 12,3 pct. højere. Flere varme dage i løbet af skoleåret kan reducere den samlede eksamenspræstation med 2,2 pct.	Temperatur	USA
Wargocki og Wyon (2013;2017)	Opsummering af litteratur	At undersøge, hvordan forholdene i klasselokalet påvirker præstationer.	Børns performance i både numeriske opgaver og sprogbaserede tests var signifikant lavere ved 27 og 30 grader end ved 20 grader. Den negative effekt af temperaturen på performance var for nogle opgaver op til 30 pct.	Sammenligning af litteratur	DK

Kilde: Egen opstilling.

Effekt af mere frisk luft

Effekt på præstationer af mere frisk luft/lavere CO₂-koncentration

Ligeledes er der lavet flere studier af sammenhængen mellem elevers præstationer og indeklimaet i klasselokaler målt på CO₂-koncentrationen. Overordnet set er der igen to typer af studier på området: 1. Studie, hvor der kontrolleres for baggrundskarakteristika mv. i regressionsanalyser. 2. Studie, hvor der opstilles eksperimenter med en kontrol og en treatmentgruppe.

1. Positiv effekt når kontrolleret for baggrund ...

Haverinen-Shaughnessy et al. (2011) finder ved en regressionsanalyse på 100 klasser i to forskellige skoledistrikter i USA en lineær sammenhæng mellem elevernes præstationer i tests og niveauet for tilførslen af frisk luft gennem ventilation, hvor der kontrolleres for bl.a.

²⁴ Wargocki og Wyon (2013).

elevernes socioøkonomiske baggrund. I ventilationsintervallet 0,9 til 7,1 L/s per person i lokalet, stiger andelen af elever, der består tests i matematik og læsning med hhv. 2,9 og 2,7 pct. for hver ekstra L/s per person ekstra frisk luft, der bliver tilført.

... fx klarer skoler med bedre ventilation sig bedre i prøver

Kjeldsen et al. (2013) benyttede data fra 388 skoler til at vise, at skoler med et ventilationsanlæg med udsugning og indblæsning klarer sig signifikant bedre i de nationale tests i forhold til skoler med naturlig ventilation. Der er estimeret en forskel i testresultaterne på 1,5 pct.point mellem de to typer af klasser. Resultatet er korrigeret med en socioøkonomisk reference for hver skole, der er baseret på hver enkelt elevs køn, alder samt forældres uddannelses- og indkomstniveau.

Resultatet kan være drevet af selektionsbias

En generel anfægtelse af resultater som dette, er muligheden for udeladte variable. Der er allerede ved testresultaterne blevet korrigeret for elevernes socioøkonomiske baggrund. Der kan dog potentielt være en udfordring for gyldigheden af resultaterne, hvis de bedste lærere søger mod skoler, der har gode faciliteter, og at disse skoler samtidig har et bedre ventilationsanlæg. Hvis det er tilfældet, vil estimater som dem ovenfor være for høje og kausaliteten mellem luftkvalitet og elevernes indlæring vil kunne anfægtes.

2. ... men eksperimenter viser samme effekt

Wargocki og Wyon (2007) rapporterer om et eksperiment på en dansk skole, hvor seks klasser deltog. Disse skulle gennemføre en række tests i dansk og matematik under både god og dårlig luftkvalitet. Eleverne vidste ikke, at de indgik i en sådan test og blev eksponeret for disse ændringer i luftkvaliteten. Der blev korrigeret for læringseffekt fra første til andet forsøg ved, at tre af klasserne begyndte med ringe luftkvalitet, og de resterende tre klasser begyndte med en god luftkvalitet. Eksperimentet viste, at når klasselokalet fik tilført mere frisk luft, gennemførte eleverne de forskellige opgaver signifikant hurtigere. I et andet studie finder Wargocki og Wyon (2013) konkret, at når tilførslen af frisk luft fordobles, stiger svarhastighederne i testene med 8 pct. Et tilsvarende eksperiment har også vist, at når luftkvaliteten forbedres, er der en indikation af, at antallet af fejl, som eleverne har i deres prøver, falder, jf. Wargocki og Wyon (2017).

Tabel 2 Effekt af mere frisk luft/mere udluftning/lavere CO₂-koncentration

Studie	Type undersøgelse	Formål	Effekt og estimat	Kilde til effekt	Land
Kjeldsen et al. (2013)	Regressionsanalyse	At undersøge sammenhængen mellem kvaliteten af indeklimaet og testresultater. Som mål for indeklimaet benyttes typen af ventilationsanlæg.	Forskellen mellem skoler med indblæs og udsug og skoler med naturlig ventilation på testresultater fra de nationale tests var 1,5 pct.point.	Ventilationsanlæg	DK
Wargocki og Wyon (2013)	Eksperiment	Effekt på hastighed af udførelsen af prøver, når tilførslen af frisk luft i klasselokalet fordobles.	Hastigheden på elevernes besvarelse steg med omkring 8 pct. når tilførslen af frisk luft fordobles.	Tilførsel af frisk luft i lokalet	DK
Wargocki et al. (1999)	Eksperiment	At undersøge sammenhængen mellem luftkvalitet og præstation.	Når den forurenende kilde er i rummet (et 20 år gammelt gulvtæppe), rapporteres der signifikant flere hovedpiner, lavere indsats og langsommere tekstskrivning. Samtidig var testpersonernes skrivehastighed 6,5 pct. langsommere.	Forureningskilde, gulvtæppe	DK
Wargocki et al. (2002)	Eksperiment	At undersøge sammenhængen mellem luftkvalitet og præstation.	Signifikant positiv effekt ved at fjerne forureningskilden i både Danmark og Sverige. En replikation af eksperimentet fra Wargocki et al. (1999).	Forureningskilde, gulvtæppe	DK og Sverige
Haverinen-Shaughnessy et al. (2011)	Regressionsanalyse	At undersøge sammenhængen mellem luftkvalitet og præstation.	Der er i studiet observeret en lineær sammenhæng mellem præstation og ventilation. I ventilationsintervallet 0,9 til 7,1 l/s per person, stiger andelen af elever der består tests i matematik og i læsning med hhv. 2,9 og 2,7 pct. for hver ekstra L/s per person.	Ventilationsstyrken per person	USA
Satish et al. (2012)	Eksperiment (analyse af var-modeller)	At undersøge sammenhængen mellem luftkvalitet og præstation.	At være udsat for meget CO ₂ nedsætter systematisk præstationen indenfor en samling af tests Strategic Management Simulation. Der blev testet ved tre forskellige niveauer af CO ₂ : 600 ppm., 1.000 ppm. og 2.500 ppm. Ift. 600 ppm. præsterede testpersonerne i syv ud af ni områder for beslutningstagning 11-23 pct. dårligere ved 1.000 ppm. og 44-94 pct. dårligere ved 2.500 ppm. Ift. for 1.000 ppm., præsteredes der 35-93 pct. ringere ved 2.500 ppm.	Forskellige niveauer af CO ₂	USA

Milton et al. (2000)	Regressions-analyse	Undersøge sammenhængen mellem sygefravær og luftkvalitet.	Der findes en signifikant, negativ sammenhæng mellem frisk luft ved ventilation og sandsynligheden for sygdom af kort varighed.	Ventilation	USA
Shendell et al. (2004)	Regressions-analyse	Undersøge sammenhængen mellem fravær i skolen og ventilation.	Når mængden af CO ₂ stiger med 1.000 ppm., stiger fraværet med 10-20 pct.	Forskellige niveauer af CO ₂	USA

Kilde: Egen opstilling.

CO₂-koncentrationen har også betydning for sygefravær

Effekt på fravær

Milton et al. (2000) har undersøgt effekten af forskellige niveauer af ventilation på sygefraværet for 3.720 ansatte på en fabrik fordelt over 115 fysiske steder med forskellig ventilationsrate. De finder, at en lav grad af ventilation og tilførsel af frisk luft øger det kortvarige sygefravær med 35 pct. Også Shendell et al. (2004) undersøger sammenhængen mellem luftkvaliteten og sygefraværet og foretager målinger i 436 klasser på 22 skoler i USA. De finder, at sygefraværet stiger med 10-20 pct., når CO₂-koncentrationen stiger med 1.000 ppm.

4. Samfundsmæssig betydning af dårligt indeklima

Kan være samf.økonomisk konsekvens af dårligt indeklima

Dårlige helbred for elever og performance forårsaget af dårligere klasseværelsesforhold kan ifølge Toftum et al. (2015) reducere læringsafkastet for eleverne og ultimativt have en økonomisk konsekvens både på et individuelt såvel som samfundsmæssigt niveau.

Fisk (2017): Begrænsede investeringer – stort afkast

Ifølge en litteraturgennemgang foretaget af Fisk (2017) fører højere ventilationshastigheder i skoler til større energiudgifter og kan betyde en stigning i udgifter til opvarmnings- ventilations- og aircondition-systemer. De årlige nettoudgifter forventes imidlertid at være mindre end 0,1 pct. af det typiske offentlige forbrug ved grundskoleuddannelsen i USA. Fisks vurdering er, at sådanne udgifter umiddelbart er en lille pris at betale givet evidensen for de positive sundheds- og performance effekter.²⁵

Centralt med god performance i dansk og matematik

Herudover er basal viden inden for matematik og dansk ifølge Toftum et al. (2015) betragtet som essentielle forudsætninger for ordentlige fremskridt i læring. OECD har også tidligere fundet, at ringe evner inden for matematik fx i alvorlig grad begrænser folks adgang til vel-lønnede jobs. Det kan således have alvorlige samfundsmæssige konsekvenser, såfremt elevernes performance påvirkes af dårligt indeklima.²⁶

Svært at måle samfundsøkonomiske konsekvenser

Beregning af de samfundsøkonomiske konsekvenser af dårligt indeklima

Wargocki et al. (2014) har vha. DREAM-modellen forsøgt at estimere de socioøkonomiske effekter af at forbedre indeklimaet igennem bedre luftkvalitet i danske skoler. Beregningen bygger på performance-resultaterne fundet i Wargocki og Wyon (2013).

Bedre indeklima kan forbedre PISA-score

Ifølge papiret fører en ændring fra de danske ventilationskrav til de svenske krav (dvs. ændring i ventilationsraten fra 6 til 8,4 L/s per person) til en forbedring af performance for typisk skolearbejde på 6 pct. i gennemsnit. Dette svarer til omkring 1/10 standardafvigelse af den gennemsnitlige performance for eleverne i de test, som studiet er baseret på. Disse resultater benytter Wargocki et al. (2014) til at estimere effekten på læring udtrykt ved for-

²⁵ Se Fisk (2017) for hans vurderinger af de positive sundheds- og performance effekter, som er opstillet på baggrund af en litteraturgennemgang.

²⁶ OECD (2007).

bedret PISA-score. For alle OECD-elever svarer 0,1 standardafvigelse til 10 PISA-point. Danmark ville således ifølge Wargocki et al. rykke op til en position lige over gennemsnittet i OECD.

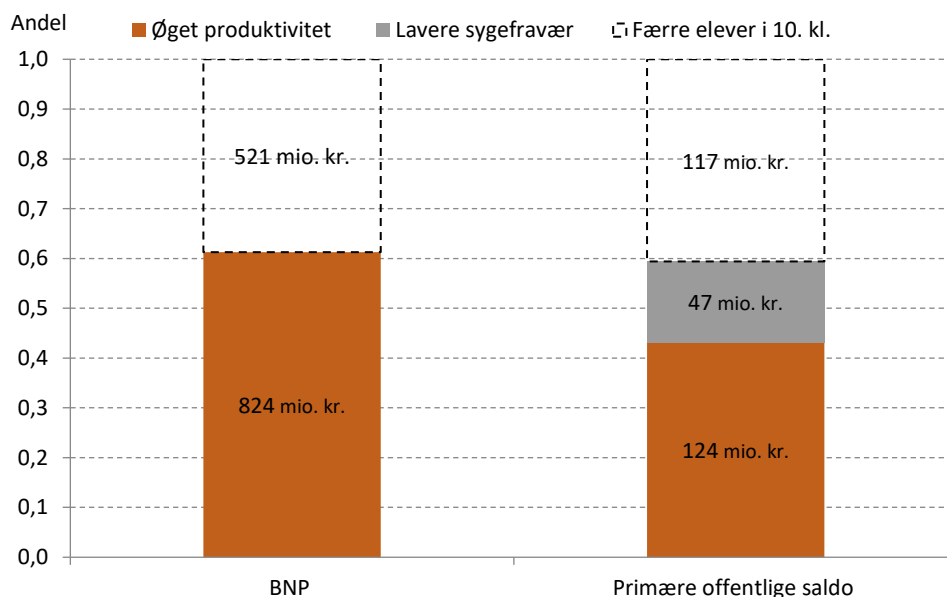
De tre effekter, som DREAM har beregnet effekten af

En forbedring i PISA-scoren vil ifølge Wargocki et al. (2014) have en række positive effekter, da:

- 1) forbedrede præstationer i skolen giver højere produktivitet og indtjening
- 2) andelen der vælger 10. klasse forventes at falde ved bedre præstationer
- 3) lærernes sygefravær forventes at blive reduceret.

Effekterne gennem disse tre kanaler er estimeret af DREAM-gruppen ud fra en fremskrivning til 2050.

Figur 5 Årlige gennemsnitseffekter af bedre indeklima ifølge Wargocki et al. (2016-priser)



Anm.: De oplyste effekter er taget fra Wargocki et al. (2014) og omregnet til DKK vha. en valutakurs hvor 1 euro=7,44 DKK. I DREAM (2012) kan effekterne derfor være en smule anderledes. Der er omregnet fra 2011- til 2016-priser med omregningsfaktoren 1,045393. De stiplede linjer angiver, at de forventede effekter skal fortolkes varsomt jf. "Diskussion af Wargocki et al.s resultater".

Kilde: Wargocki et al. (2014).

1. BNP styrkes med omkring 825 mio. kr ved øget produktivitet

Ifølge det tekniske baggrundspapir fra DREAM-gruppen etableres der i OECD (2010) et forhold mellem PISA-point og vækst i BNP, hvor 100 PISA-point giver anledning til en forøgelse af den økonomiske vækst med 1,7 pct.point.²⁷ En forbedring på 10 point vil således svare til en øget vækst i BNP på 0,17 pct.point grundet højere produktivitet og indtjening. OECD-studiet estimerer en varig væksteffekt, men DREAM-beregningen er baseret på en begrænsning af effekten til 20 år, hvilket ifølge Wargocki et al. er konservativt. Det estimeres af DREAM-gruppen, at de offentlige finansers primære saldo styrkes varigt med gennemsnitligt 124 mio. kr. om året og BNP styrkes med omkring 825 mio. kr. årligt i gennemsnit i 2016-priser. Effekten er mindst i starten og større senere hen, når eleverne kommer ud på arbejdsmarkedet.

2. ... og potentielt yderligere 521 mio. kr. ved færre i 10. kl.

Udover øget produktivitet forventes en forbedring i PISA-resultaterne at føre til en mindre reduktion i antallet af elever, som behøver at tage 10. klasse i det danske grundskolesystem.

²⁷ DREAM (2012).

Wargocki et al. forventer, at en forbedring på 10 point på PISA-skalaen vil svare til, at fire pct. færre gennemfører 10. klasse. Det svarer til, at andelen af personer, der tager en 10. klasse i udgangsåret fra 55 til 53 pct. af årgangen. Personerne, der ikke længere ville tage 10. klasse, antages at følge samme mønster som personer, der i dag ikke tager den. Det vil betyde, at lidt flere får en uddannelse eller et ekstra produktivt år på arbejdsmarkedet. DREAM beregner, at det vil betyde en gennemsnitlig årlig stigning i BNP på 521 mio. kr. og at de offentlige finansers primære saldo styrkes med i gennemsnit omkring 117 mio. kr. årligt i 2016-priser. Effekten er mindst i starten og større på længere sigt.

3. ...og yderligere 47 mio. kr. årligt i besparelse af vikarer

Wargocki et al. (2014) estimerer herudover, på baggrund af et litteraturstudium af sammenhængen mellem sygefravær og udluftning i kontorbygninger, at lærernes sygefravær vil formindskes med 4 pct. ved at forbedre luftkvaliteten til svensk niveau. Det svarer til en reduktion i sygefraværet på knap en halv dag om året eller cirka 0,2 pct. af arbejdstiden. Reduktionen i lærernes sygefravær estimeres til at give en besparelse på 47 mio. kr. i vikarudgifter om året i 2016-priser. Effekten indtræder med det samme og vil herefter være konstant.

Resultaterne bygger på stærke antagelser

Diskussion af Wargocki et al.s resultater

Resultaterne i Wargocki et al.s notat er udgivet som et conferencepapir, men der er fortsat tale om resultater, som er behæftet med betydelig usikkerhed. Konkret bygger analysen på tre centrale antagelser:

1. Højere PISA-resultater giver højere løn som voksen

Første stærke antagelse er antagelsen om, at forbedringen på 10 point i PISA-resultaterne i de danske folkeskoler fører til en stigning i vækstraten på 0,17 pct.point. På den ene side kan sammenhængen mellem høje resultater i OECD-målingerne og høje vækstrater skyldes, at lande, som har høje vækstrater har ressourcer til at investere i uddannelse. På den anden side er der ingen grund til at tro, at en absolut forbedring i folkeskoleelevernes resultater ikke skulle føre til øget produktivitet – dels i form af afkast af uddannelse, dels for eleverne senere hen. Chetty et al. (2010) finder fx også, at elever, som tilfældigt blev sat ind i højere-kvalitets klasseværelser i de første år i grundskolen (målt på klassekammeraternes testresultater) har en højere løn senere i livet.

2. Færre tager 10. klasse

Anden stærke antagelse er, at en øget PISA-score betyder, at 4 pct. færre elever tager 10. klasse ifølge Wargocki et al. (2014). Ifølge forfatterne klarer elever, der tager 10. klasse, sig dårligere end gennemsnittet. Selvom tidligere analyser viser, at en del af eleverne der vælger 10. klasse gør det for at forbedre sig fagligt, for at blive klar til en ungdomsuddannelse, så er der forskellige årsager til at gå i 10. klasse.²⁸ Derfor bør særligt denne del af analysens resultater fortolkes varsomt. En konservativ vurdering af den samlede gennemsnitlige årlige effekt på BNP og den primære offentlige saldo er således eksklusiv bidraget fra, at færre personer tager 10. klasse. Det ville svare til hhv. omkring 825 mio. kr. og 171 mio. kr. årligt i 2016-priser.

3. Øget ventilation reducerer sygefraværet

Tredje antagelse, er antagelsen om, at en forøget ventilationsrate fra 6 til 8,4 L/s per person reducerer sygefraværet for lærerne med 4 pct., svarende til 0,2 pct. af et arbejdsår. Det lavere sygefravær må imidlertid også forventes at gælde eleverne og vil reducere deres sygefravær på et tilsvarende niveau. Effekten af betydningen for indlæringen ved mindre fravær er således ikke med i beregningen af de samfundsøkonomiske effekter af bedre indeklima. Herudover kan færre fraværsdage for de yngste elever potentielt også reducere deres forældres fraværsdage fra arbejdet, og denne effekt er heller ikke medregnet. Den samfundsøkonomiske effekt i analysen af bedre indeklima på lavere sygefravær vurderes derfor at være et konservativt estimat.²⁹

²⁸ Se fx EVA (2011).

²⁹ Se også Wargocki et al. (2014) for en yderligere diskussion af gyldigheden af analysens resultater.

5. Litteratur

- Arbejdstilsynet (2008). *Indeklima*. Kan tilgås her: <https://arbejdstilsynet.dk/da/regler/at-vejledninger/i/a-1-2-indeklima>
- Bakó-Biró, Z., Wargocki, P., Weschler, C., Fanger, P. (2004). Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices, *Indoor Air 14*, s. 178-187.
- Bygningsreglementet (2010), *BR10*. Kan tilgås her: http://bygningsreglementet.dk/br10_05/0/42
- Chetty, R., Friedman, J., Hilger, N., Saez, E., Schancenbach, D og Yagan, D. (2010). How does your kindergarten classroom affect your earnings? Evidence from project star, *National Bureau of Economic Research*, working paper 16381.
- Clausen, G., Toftum, J. og Andersen, B. (2014). *Indeklima i klasselokaler – resultater*. Kan tilgås her: https://www.exhausto.dk/~media/Global/PDF/Institute/Research/Officiel%20Rapport%20resultatrapport_mx2014_5_small.pdf
- Clausen, G., Toftum, J., Bekö, G., Dam-Krogh, E. P., Fangel, A. og Andersen, K. (2017). *Indeklima i skoler*. Kan tilgås her: <https://realdania.dk/projekter/skolernes-indeklima>
- DREAM (2012). *De samfundsøkonomiske konsekvenser af forbedret indeklima i den danske folkeskole*. Dream rapport, august 2012.
- EVA (2011). *Karakteristik af 10.-klasse-elever*. Kan tilgås her: <https://www.eva.dk/grundskole/karakteristik-10-klasse-elever>
- Fisk, W. (2017). The ventilation problem in schools: literature review, *Indoor Air*.
- Haverinen-Shaughnessy, U. og Shaughnessy, R. (2015). Effects of Classroom Ventilation Rate and Temperature on Students' Test Scores, *PLOS ONE 10(8)*: e0136165.
- Haverinen-Shaughnessy, U., Moschandreas, D. og Shaughnessy, R. (2011). Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement, *Indoor Air 21*, s. 121-131.
- Kjeldsen, B., Toftum, J., Wargocki, P. og Clausen, G. (2013). *Sammenhæng mellem luftkvalitet i grundskoler og elevers indlæring*. Center for Indeklima og Energi, Institut for Byggeri og Anlæg og Danmarks Tekniske Universitet.
- Milton, D., Glencross, P. og Walters, M. (2000). Risk of Sick Leave Associated with outdoor Air Supply Rate, Humidification and Occupant Complaints, *Indoor Air 10*, s. 212-221.
- OECD (2010). *The high cost of low educational performance – The long run economic impact of improving PISA outcomes*. OECD, 2010.
- Park, J. (2016). Temperature, Test scores, and Educational Attainment. *Harvard University Economics Department*.

- Sarbu, I. og Pacurar, C. (2015). Experimental and numerical research to assess indoor environment quality and schoolwork performance in university classrooms, *Building and Environment* 93, s. 141-154.
- Satish, U., Mendell, M., Shektar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S. og Fisk, W. (2012). Is CO₂ an indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance, *Environmental Health Perspectives* Vol 120, No. 12, s. 1671-1677.
- Seppänen, O., Fisk, W. og Faulkner, D. (2003). Cost benefit analysis of the night-time ventilative cooling in office building, *University of California*.
- Shendell, D., Prill, R., Fisk, W., Apte, M., Blake, D. og Faulkner, D. (2004). Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho, *Indoor Air* 14, s. 333-341.
- Tham, K., Willem, H., Sekhar, S., Wyon, D., Wargocki, P. og Fanger, P. (2003). Temperature and ventilation effects on the work performance of office workers, *Proceedings of Healthy Buildings 3*, s. 280-286.
- Toftum, J., Dam-Krog, E. P., Bekö, G. og Clausen, G. (2016). *Luftkvalitet i skoler, skolebygningernes karakteristika og elevernes indlæring*. Kan tilgås her: <https://universe.ida.dk/artikel/luftkvalitet-i-skoler-skolebygningernes-karakteristika-og-elevernes-indlaering-31290/>
- Toftum, J., Kjeldsen, B., Wargocki, P., Menå, H. Hansen, E. og Clausen, G. (2015). Association between classroom ventilation mode and learning outcome in Danish schools, *Building and Environment* 92, s. 494-503.
- Undervisningsministeriet (2017). *Undervisningstidens samlede længde*. Kan tilgås her: <https://uvm.dk/folkeskolen/fag-timetale-og-overgange/undervisningens-samlede-laengde>.
- Wargocki, P., Foldbjerg, P., Eriksen, K. og Videbæk, L. (2014). Socio-economic consequences of improved air quality in Danish primary schools, *Proceedings of Indoor Air*. Paper no. HP0946.
- Wargocki, P. og Wyon, D. (2007). The Effects of Outdoor Air Supply Rate and Supply Air Filter Condition in Classrooms on the Performance of Schoolwork by Children, *HVAC&R Research*, 13:2, s. 165-191.
- Wargocki, P. og Wyon, D. (2013). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective, *Building and Environment* 59, s. 581-589.
- Wargocki, P. og Wyon, D. (2017). Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork, *Building and Environment* 112, s. 359-366.
- Wargocki, P., Lagercrantz, L., Witterseh, T., Sundell, J., Wyon, D., Fanger, P. (2002). Subjective perceptions, symptom intensity and performance: a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office, *Indoor Air* 12, s. 74-80.

- Wargocki, P., Wyon, D. og Fanger, P. (2004). The performance and subjective responses of call-center operators with new and used supply air filters at two outdoor air supply rates, *Indoor Air 14 (Suppl 8)*, s. 7-16.
- Wargocki, P., Wyon, D., Baik, Y., Clausen, G. og Fanger, P. (1999). Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads, *Indoor Air 9*, s. 165-179.
- Wargocki, P., Wyon, D., Sundell, J., Clausen, G. og Fanger, P. (2000). The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity, *Indoor Air 10*, s. 222-236.