

TOTALVÆRDI INDEKLIMA &

DOKUMENTATION

Til understøtning af beregningsværktøjet



INDHOLDSFORTEGNELSE

Introduktion	01
Beregningsværktøj- temperatur	02
"Effect of Temperature on Task Performance in Office Environment"	02
Sammenhæng mellem temperatur og præstation i beregningsværktøj	03
Beregningsværktøj- CO ₂ -koncentration	04
"Ventilation and Performance in Office Work"	04
Sammenhæng mellem CO ₂ -koncentration og præstation i beregningsværktøj	06
Referencer	08

INTRODUKTION

Dette dokument har til formål at understøtte beregningsværktøjet, som er udviklet i forbindelse med InnoBYG projektet "*Totalværdi & Indeklima*" i perioden december 2015- juni 2017.

Det udviklede beregningsværktøj er baseret på de følgende undersøgelser og relationer, og dokumentet er henvendt til den interesserede læser, der ønsker at vide mere om de bagvedliggende relationer. Selve anvendelsen af beregningsværktøjet er ikke forklaret heri, i stedet henvises der til selve værktøjet der også inkluderer en "introduktionsfane".

BEREGNINGSVÆRKTØJ - TEMPERATUR

Sammenhængen mellem temperatur og præstation i beregningsværktøjet er baseret på nedenstående undersøgelse. Undersøgelsen har overordnet taget udgangspunkt i i alt 24 andre undersøgelser/studier af sammenhænge mellem temperatur og præstation i kontormiljøer, og har samlet de fundne resultater i én relation.

“EFFECT OF TEMPERATURE ON TASK PERFORMANCE IN OFFICE ENVIRONMENT”

Olli Seppänen¹, William J Fisk², QH Lei²

<http://escholarship.org/uc/item/45g4n3rv#page-1>

LBNL-60946

¹ Helsinki University of Technology, Finland.

² Indoor Environment Department, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA.

UNDERSØGELSER

Undersøgelsen har taget udgangspunkt i undersøgelser/studier som har anvendt objektive indikatorer for præstation, og som er relevante for kontorarbejde, så som tekstbehandling, enkelte beregninger (addition, multiplikation), længden af kunde-service tid og total behandlingstid pr. kunde i call-centre. Der er taget udgangspunkt i undersøgelserne, som kan ses i tabel 1.

Tabel 1: Undersøgelser anvendt som udgangspunkt for den udviklede relation for temperatur og præstation. Tallene i parentes angiver undersøgelsesernes vurderede vægtningsfaktor i forhold til relevansen af virkeligt arbejde.

Opgaveform for undersøgelserne	Antal undersøgelser	Miljø for undersøgelserne
Objektiv arbejdsindsats (1,0)	7	Kontormiljø
Komplekse opgaver (0,5)	3	Kontormiljø, feltlaboratorium og beklædnings fabrik
Simple opgaver, visuelle opgaver (0,25)	7	Laboratorium
Opmærksomheds opgaver, manuelle opgaver i relation til kontor arbejde (0,15)	3	Feltlaboratorium, laboratorium
Læring (0,15)	4	Klasseværelse

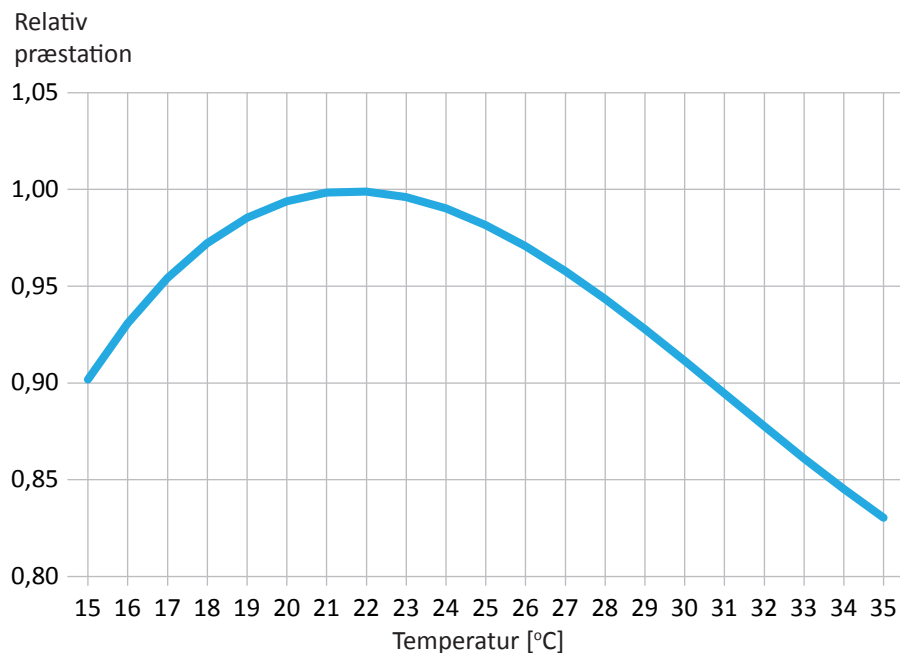
METODE

De i alt 24 undersøgelser/studier varierede i metode og omfang; fra 9 til 500 forsøgspersoner. Analyserne blev derfor vægtet i forhold til deres prøvestørrelse. For at forhindre, at de store studier ikke havde overdreven indflydelse på regressionen, blev studier med 100 forsøgspersoner eller derover alle tildelt en maksimal vægtningsfaktor på 1,0.

En vægtningsfaktor baseret på forfatterens vurdering af relevansen af præstationsresultaterne i forhold til virkeligt arbejde blev også anvendt. Målinger af præstationsændringer hos kontorarbejdere ved virkeligt arbejde i call-centre blev antaget mere repræsentativt end præstationsændringer ved simulerede opgaver, så som korrekturlæsning og lignende. Vægtningsfaktoren varierede mellem 0,15 til 1,0, og er angivet i tabel 1.

RESULTAT

Alle datapunkter ud fra ovenstående metode blev plottet i forhold til den procentvise ændring i præstation og gennemsnitstemperatur, hvor positive værdier indikerede forbedret præstation og negative værdier indikerede forringet præstation. Ud fra disse forhold blev der udviklet en relation for relativ præstation som funktion af temperatur, se figur 1.



Figur 1: Normaliseret relativ præstation i forhold til temperatur ved kontorarbejde.

Ligningen for kurven på figur 1 er:

$$P = 0,1647524 * T - 0,0058274 * T^2 + 0,0000623 * T^3 - 0,4685328$$

hvor,

P er præstation [-]

T er rumtemperatur [°C]

Undersøgelsen viser et konstant fald i præstation for opgaver der er typiske for kontorarbejde, når temperaturen stiger over 24-26°C. Eksempelvis er præstationen ved en temperatur på 30°C kun 91,1% af maksimum ved 21,75°C, altså en reduktion på 8,9% i præstation.

OVERVEJELSER

Undersøgelsen har, som alle undersøgelser, en vis usikkerhed. Det kvantitative forhold mellem temperatur og præstation kan variere afhængigt af arbejdets art, kontorets indretning og personen; mange andre faktorer kan have indflydelse på sammenhængen. Yderligere er det udviklede forhold mellem præstation og temperatur baseret på simple opgaver/studier end hvad virkeligt arbejde ofte ville udgøre. Desuden er relationen baseret på forfatterens subjektive vurdering på flere områder.

SAMMENHÆNG MELLEM TEMPERATUR OG PRÆSTATION I BEREKNINGSVÆRKTØJ

Anvendelsen af sammenhængen mellem temperatur og præstation til kontorarbejde i det udviklede beregningsværktøj er forklaret i det følgende. Selve brugen af værktøjet er ikke forklaret her; der henvises til projektrapporten eller beregningsværktøjet i sig selv.

OPBYGNING OG RELATIONER

Beregningsværktøjet tager udgangspunkt i fire temperaturkategorier samt en "Uden for kategori". Den bedste, Kategori I, omfatter et temperaturinterval på 21-23°C. Herfra deler temperaturen sig i de øvrige kategorier.

Temperaturkategoriernes intervalopdeling og de dertilhørende præstationssammenhænge anvendt i beregningsværktøjet, kan ses i tabel 2.

Tabel 2: Temperaturkategorier og dertilhørende relativ præstation anvendt i beregningsværktøjet.

Kategori	Temperaturinterval	Relativ præstation ved mindste temperatur i kategori	Relativ præstation ved maksimale temperatur i kategori	Middelværdi af relativ præstation ved mindste og maksimale temperatur i kategori
Kategori I	21-23°C	0,998	0,996	1,0 ~ 100%
Kategori II	20-21°C og 23-24°C	0,994	0,990	0,992 ~ 99%
Kategori III	19-20°C og 24-25°C	0,985	0,982	0,984 ~ 98%
Kategori IV	18-19°C og 25-26°C	0,972	0,971	0,972 ~ 97%
Uden for kategori	<18°C og 26°C >	0,943	0,943	0,943 ~ 94%

Temperaturkategoriernes inddeling er baseret på førnævnte undersøgelse i forhold til at en temperatur på 21,75°C blev fundet som det mest optimale i forhold til præstation ved kontorarbejde. Inddelingen er ligeledes baseret på de normale komfortkriterier, der anbefales for temperaturer [DS/EN 15251].

Præstationssammenhængene der er anvendt for temperatur i beregningsværktøjet er en middelværdi af præstationen ved hhv. den laveste og højeste temperatur inden for hver kategori, se tabel 2. Kategori I er dog en undtagelse, idet denne er sat til at have en præstation på 100%, selvom dette forhold ikke er helt retvisende. "Uden for kategori" er defineret som temperaturer under 18°C eller over 26°C. For denne kategori er der anvendt relativ præstation ved temperaturer på hhv. 16,5°C og 28°C, idet det blev antaget, at et muligt interval for denne kunne være hhv. 15-18°C og 26-30°C.

BEREGNINGSVÆRKTØJ - CO₂-KONCENTRATION

Sammenhængen mellem CO₂-koncentration og præstation i beregningsværktøjet er baseret på nedenstående undersøgelse. Undersøgelsen har overordnet taget udgangspunkt i i alt 9 andre undersøgelser/studier af sammenhænge mellem ventilationsrate og præstation i kontormiljøer, og har samlet de fundne resultater i én relation.

"VENTILATION AND PERFORMANCE IN OFFICE WORK"

Olli Seppänen¹, William J Fisk², QH Lei²

Publiceret i "Indoor Air Journal, vol. 18, pp. 28-36, 2006"

LBNL-58516

¹ Helsinki University of Technology, Finland.

² Indoor Environment Department, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA.

UNDERSØGELSER

Undersøgelsen har taget udgangspunkt i undersøgelser/studier som har anvendt objektive indikatorer for præstation, og som er relevante for kontorarbejde, så som tekstbehandling, enkelte beregninger (addition, multiplikation), længden af kunde-service tid og total behandlingstid pr. kunde i call-centre. Yderligere er der inkluderet én undersøgelse udført i skoler. Der er taget udgangspunkt i undersøgelserne, som kan ses i tabel 3.

Tabel 3: Undersøgelser anvendt som udgangspunkt for den udviklede relation for ventilationsrate og præstation.

Opgaveform for undersøgelserne	Miljø for undersøgelserne	Antal forsøgspersoner
Multiplikation, addition og tekstbehandling	Laboratorium med simuleret kontormiljø	30 kvindelige studerende
Gennemsnitlig håndteringstid af opkald mv.	Langtidsfeltstudie i call-center	100 arbejdere
Gennemsnitlig opkaldstid	Langtidsfeltstudie i call-center	119 sygeplejere
Gennemsnitlig afslutningstid	Langtidsfeltstudie i call-center	-
Reaktionstid i test	Interventionsstudie i renoverede skoler	8 skoler, 35 klasser, 600 elever
Gennemsnitlig opkaldstid	Interventionsstudie i call-center	26 medarbejdere
Gennemsnitlig opkaldstid	Interventionsstudie i call-center	56 kvindelige medarbejdere
Gennemsnitlig opkaldstid	Interventionsstudie i call-center	26 medarbejdere
Tekstbehandling, addition, korrekturlæsning og kreativ tænkning	Laboratorium med simuleret kontormiljø	30 kvindelige studerende

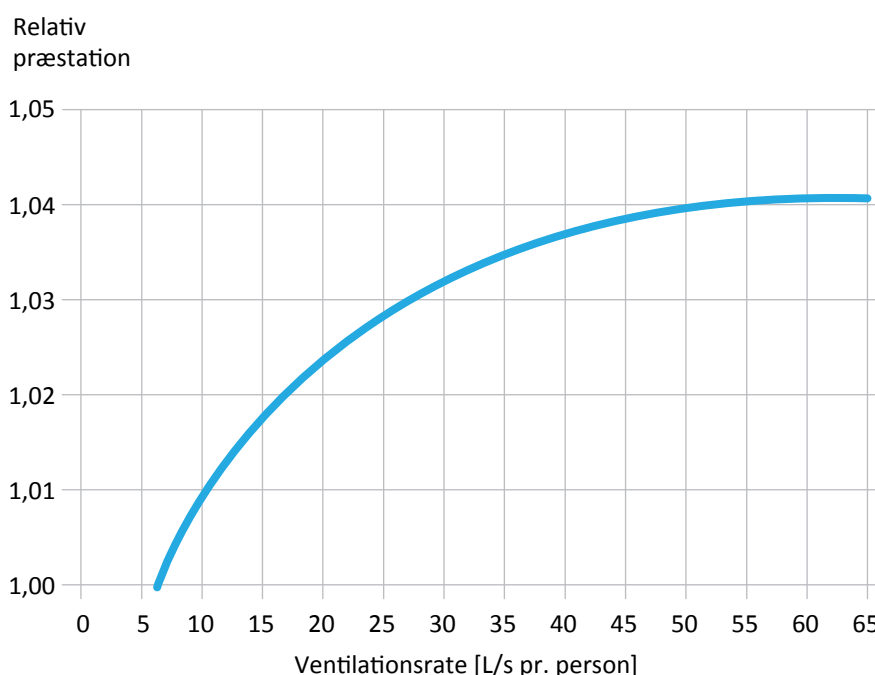
METODE

De i alt 9 undersøgelser/studier varierede i metode og omfang; fra 26 til 119 forsøgspersoner, med undtagelse af ét studie med 600 elever. Analyserne blev derfor vægtet i forhold til deres prøvestørrelse. For at forhindre, at de store studier ikke havde overdreven indflydelse i regressionen, blev deres prøvestørrelse tildelt en maksimal vægtning på 5 gange det mindste studie.

En vægtningsfaktor baseret på forfatterens vurdering af relevansen af præstationsresultaterne i forhold til virkeligt arbejde blev også anvendt. Målinger af præstationsændringer hos kontorarbejdere ved virkeligt arbejde i call-centre blev antaget mere repræsentativt end præstationsændringer ved simulerede opgaver, så som korrekturlæsning og lignende.

RESULTAT

Alle datapunkter ud fra ovenstående metode blev plottet i forhold til den relative ændring i præstation og ventilationsrate, se figur 2. Ud fra disse forhold blev der udviklet en relation for relativ præstation som funktion af ventilationsrate.



Figur 2: Normaliseret relativ præstation i forhold til ventilationsrate ved kontorarbejde.

Undersøgelsen tager udgangspunkt i en reference ventilationsrate på 6,5 L/s pr. person, som er et normalt anvendt niveau i kontorer og lignende. Undersøgelsen viser en stigning i præstation for opgaver, der er typiske for kontorarbejde, når ventilationsraten stiger til 45 L/s pr. person. Når ventilationsraten er højere end dette niveau, har en forøgelse af ventilationsraten reduceret påvirkning på præstationen. Generelt ses det, at når ventilationsraten stiger, har en yderligere forøgelse kun marginal virkning på præstationen. Eksempelvis stiger præstationen med ca. 2% pr. 10 L/s pr. person med udgangspunkt i 6,5 L/s pr. person, hvorimod præstationen stiger med ca. 1% pr. 10 L/s pr. person med udgangspunkt i 20 L/s pr. person.

OVERVEJELSER

Undersøgelsen har, som alle undersøgelser, en vis usikkerhed. Det kvantitative forhold mellem ventilationsrate og præstation kan variere afhængigt af arbejdets art, kontorets indretning og personerne; mange andre faktorer kan have indflydelse på sammenhængen. Yderligere er det udviklede forhold mellem præstation og ventilationsrate baseret på simple opgaver/studier end hvad virkeligt arbejde ofte ville udgøre. Desuden er relationen baseret på forfatterens subjektive vurdering på flere områder.

SAMMENHÆNG MELLE CO_2 -KONCENTRATION OG PRÆSTATION I BEREKNINGSVÆRKTØJ

Anvendelsen af sammenhængen mellem ventilationsrate/ CO_2 -koncentration og præstation til kontorarbejde i det udviklede beregningsværktøj er forklaret i det følgende. Selve brugen af værktøjet er ikke forklaret her; der henvises til projektrapporten eller beregningsværktøjet i sig selv.

OPBYGNING OG RELATIONER

Beregningsværktøjet tager udgangspunkt i fire kategorier for CO_2 -koncentration samt en "Uden for kategori". Den bedste, Kategori I, omfatter CO_2 -koncentrationer under 700 ppm. Herfra stiger CO_2 -koncentrationerne i de øvrige kategorier.

For at beregningsværktøjet kunne tage udgangspunkt i CO_2 -koncentrationer, blev ventilationsraten omregnet til tilsvarende CO_2 -koncentrationer.

Følgende stationære ligevægtskoncentration blev beregnet:

$$C_{\infty} = \frac{G}{q_v} + C_{ude}$$

hvor,

C_{∞} er CO_2 -koncentrationen i lokalet [ppm]

G er produktionsraten af CO_2 [L/h]

q_v er ventilationsraten [L/h]

C_{ude} er udendørskoncentrationen af $CO_2 \sim 400$ ppm

Yderligere er produktionsraten af CO_2 givet ved:

$$G = 17 * M \text{ [L/h]}$$

hvor,

M er aktivitetsniveauet [met]

Der er i beregningerne antaget et aktivitetsniveau på 1,0 met svarende til en person i hvile. Udendørskoncentrationen af CO_2 er antaget til at være 400 ppm.

Et regneeksempel for Kategori I:

$$700 \text{ ppm} = \frac{17 \cdot 1}{q_v} + 400 \text{ ppm} \quad \Leftrightarrow$$

$$700 \cdot 10^{-6} = \frac{17}{q_v} + 400 \cdot 10^{-6} \quad \Leftrightarrow$$

$$q_v = 56667 \text{ L/h} \quad \Leftrightarrow$$

$$\underline{\underline{q_v = 15,7 \text{ L/s}}}$$

Kategoriernes intervalopdeling og de dertilhørende præstationsammenhænge anvendt i beregningsværktøjet kan ses i tabel 4.

Tabel 4: Kategorier for CO₂-koncentration og dertilhørende relativ præstation anvendt i beregningsværktøjet.

Kategori	CO ₂ -koncentrations interval	Tilsvarende ventilationsrate ved mindste CO ₂ -koncentration i kategori	Tilsvarende ventilationsrate ved maksimal CO ₂ -koncentration i kategori	Middelværdi af relativ præstation ved mindste og maksimale ventilationsrate i kategori
Kategori I	< 700 ppm	-	15,7	1,0 ~ 100%
Kategori II	700- 1000 ppm	15,7	7,9	0,994 ~ 99%
Kategori III	1000- 1500 ppm	7,9	4,3	0,982 ~ 98%
Kategori IV	1500- 2000 ppm	4,3	2,9	0,972 ~ 97%
Uden for kategori	2000 ppm >	2,9	-	0,968 ~ 97%

Kategoriernes inddeling er baseret på de kriterier der anbefales for CO₂-koncentration i lokaler, hvor mennesker er den største forureningskilde- som almindelige kontorer og lignende [DS 3033].

Værdier for relativ præstation der er anvendt for CO₂-koncentration i beregningsværktøjet, er en middelværdi af præstationen ved hhv. den laveste og højeste CO₂-koncentration (og dermed ventilationsrate) inden for hver kategori, se tabel 4. Præstationsammenhænge er dog rykket i forhold til den førnævnte sammenhæng i undersøgelsen, således at der tages udgangspunkt i, at 15,7 L/s pr. person ~ 700 ppm er det optimale forhold i forhold til præstationsammenhæng, altså en præstation på 100%, og dermed den maksimale ventilationsrate der vil forekomme i kontorer, da et niveau over dette vil være usandsynligt. Efterfølgende er der anvendt førnævnte sammenhæng til at beregne hvor meget et fald i ventilationsraten vil betyde for præstationen med udgangspunkt i 15,7 L/s pr. person.

”Uden for kategori” er defineret som CO₂-koncentrationer over 2000 ppm. For dette interval er anvendt præstationsammenhænge ved 2000 ppm, da det antages, at en koncentration over 2000 ppm er usandsynligt.

REFERENCER

- [DS/EN 15251] Dansk Standard, *DS/EN 15251 Input-parametre til indeklimaet ved design og bestemmelse af bygningers energimæssige ydeevne vedrørende indendørs luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustik*. Dansk Standard Forlag 1. udgave. 2001.
- [DS 3033] Dansk Standard, *DS 3033 Frivillig klassificering af indeklimaets kvalitet i boliger, skoler, daginstitutioner og kontorer*. Dansk Standard Forlag 1. udgave. 2011



TEKNOLOGISK
INSTITUT

