

#2478

AIVC
1961

STATENS INSTITUT FÖR BYGGNADSFORSKNING
Avd 7 Klimat och installationer
Mats Sandberg
NORGES TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutt for VVS
Eimund Skåret, IOT

2478

1985-04-01

LUFTUTBYTES- OCH VENTILATIONSEFFEKTIVITET

Nya hjälpmedel för ventilationskonstruktörer



LUFTUTBYTES- OCH VENTILATIONSEFFEKTIVITET
nya hjälpmedel för ventilationskonstruktörer

Ventilationssystem installerar vi i byggnader för att luftkvaliteten skall bli acceptabel ur hygienisk synpunkt. Samtidigt skall alla komfortparametrar i vistelsezonen hållas inom tillåtna värden. För att underlätta en konstruktörs val av lämpligt ventilationssystem, med hänsyn till förmåga att upprätthålla en bra luftkvalitet, föreslår en arbetsgrupp inom Nordiska ventilationsgruppen (NVG) användning av några begrepp som delvis är helt nya:

Luftutbyteseffektiviteten är en verkningsgrad och ett mått på hur snabbt luften i rummet byts ut. Vid ett givet tilluftsflöde av uteluft beror luftutbyteseffektiviteten av till- och frånluftsdonens placering, typ av don och inblåsningshastigheter, temperaturskillnaden mellan till- och frånluften, förekomsten av värme-/kylkällor samt av aktiviteten i rummet.

För att karakterisera förhållandena i vistelsezonen införes begreppen *lokal medelålder* och *ventilationsindex*.

Ventilationseffektiviteten är ett mått på hur snabbt en förorening transporteras bort från rummet. Den tid det i medel tar att transportera bort en förorening från rummet bestämmer medelkoncentrationen i rummet. Ventilationseffektiviteten är, förutom av ovannämnda faktorer, i allmänhet beroende av föroreningens egenskaper.

Ålder och luftutbyteseffektiviteten är nya begrepp, medan definition av ventilationseffektiviteten är i överensstämmelse med den klassiska definitionen.

För att säkerställa en bra funktion bör konstruktören sträva efter att placera till- och frånluftsdonen så att både en tillfredsställande luftutbytes- och ventilationseffektivitet uppnås.

Inledning

Ett populärt uttryckssätt för att beskriva att ventilationen är dålig är att säga att luften är gammal eller att det luktar gammalt. Detta är ett träffande uttryckssätt som kan tas som utgångspunkt för att kvantifiera ett ventilationssystem's funktion. Om man har bra eller dålig genomventilering av ett område kan kvantifieras genom uppmätning av luftens lokala medelålder.

Luftens lokala medelålder är den tid det tar för luften att komma från tilluftsdonet fram till ifrågavarande område. All luft som passerar ett område av rummet kommer i allmänhet ej dit samtidigt. Luften har med andra ord en viss åldersfördelning. Åldersfördelningen och därmed luftens lokala medelålder kan bestämmas med hjälp av spårgasteknik.

Medelåldern av all luft i rummet är direkt relaterad till den tid det tar att byta ut luften i rummet. Man kan teoretiskt visa att för att byta ut all luft i rummet tar det i medeltal en tid lika med två gånger luftens medelålder i rummet.

Medelåldern för all luft i rummet kan i täta byggnader med fläktstyrd ventilation bestämmas genom uppmätning enbart i frånluftskanalerna.

För föroreningar kan man på samma sätt som för luft införa ett åldersbegrepp. Föroreningens ålder är den tid som förflutit sedan föroreningen genererades. Medelkoncentrationen i rummet vid stationära förhållanden är direkt proportionell mot föroreningens medelålder när den lämnar rummet, och denna kan bestämmas genom uppmätning i frånluftskanalerna.

Mellan lokala koncentrationer och föroreningens eller luftens lokala medelålder finns ej något allmängiltigt kvantitativt samband.

I artikeln definieras och diskuteras betydelsen av följande storheter:

- * *Specifika flödet*, som anger storleksordningen av tilluftsflödet.
- * *Luftutbyteseffektiviteten*, som anger hur snabbt luften i rummet byts ut i förhållande till det teoretiskt snabbast möjliga utbytet i luften.

- * *Ventilationseffektiviteten*, som anger medelkoncentrationen i hela rummet i förhållande till koncentrationen i frånluften.
- * *(Lokalt) ventilationsindex*, som anger den lokala koncentrationen i förhållande till koncentrationen i frånluften.

LUFTEN

Ventilationsluftflödet och specifika flödet

I ventilationssammanhang måste vi göra skillnad mellan olika slags luft. När det gäller tillförd luft är det enbart volymflödet av 'ren' luft som har någon 'ventilerande' inverkan. Med *ventilationsluftflödet* avses därför volymflödet, q (m^3/h), av 'ren' luft som tillföres rummet, dvs i allmänhet uteluftsflödet. Vid system med återluft är det alltså, om ej speciella reningsåtgärder vidtages, enbart flödet av uteluft som är av intresse och ej totala tilluftsflödet. Vi kan ange hur mycket ventilationsluft vi tillför genom att ange det *specifika flödet*, vilket vi definierar som tilluftsflödet av 'ren' luft (uteluft) i förhållande till den totala ventilerade volymen. Specifika flödet betecknar vi med n , och det beräknas som:

$$\text{Specifika flödet; } n = \frac{q}{V} \left[\frac{\text{Antal rumsvolymer}}{h} \right] \text{ eller } \left[\frac{m^3/h}{m^3} \right] \quad (1)$$

Observera den fysikaliska dimensionen, det är fråga om ett flöde per volymenhet. Vi skall alltså *ej* förkorta bort dimensionerna till $(1/h)$. Ett exempel: en lägenhet med volymen $150 m^3$ ventileras med ett totalt uteluftsflöde av $75 m^3/h$. Det specifika flödet blir alltså $75/100 = 0.5$ lägenhetsvolymer/timme eller $0.5 (m^3/h)/m^3$. Det specifika flödet kallades som bekant tidigare ofta 'luftomsättning'. Enheten angavs till gånger/timme. Det är dock missvisande eftersom det ger intrycket att luften i rummet byts ut så många gånger per timme.

Det är dessutom viktigt att göra skillnad mellan den luft som vi tillför och den luft som *befinner* sig i rummet, $V(m^3)$. Vi tillför ventilationsluft bl a för att byta ut den 'gamla' luften som befinner sig i rummet.

Hur snabbt luften i rummet byts ut bestäms ej enbart av storleken av tilluftsflödet och rummets/lägenhetens volym. Utbytes-

tiden beror i högsta grad av hur luften strömmar i rummet, olika luftströmningsmönster ger olika utbytestider. För att närmare förklara hur man kan bestämma utbytestiden för luften i rummet skall vi först se vad som avses med luftens ålder.

Luftens ålder och luftutbyteseffektiviteten

I BILD 1 visas hur tillluftens molekyler kommer fram till en punkt, som vi kallar p, i ett rum med volymen V. När luften passerar tillluftsdonet är tiden lika med noll. Luften kommer i allmänhet via olika vägar fram till området ifråga och det tar därför olika tid för tillluftens molekyler att nå fram. Genom att bilda medelvärdet av ankomsttiderna får vi luftens medelankomsttid, $\bar{\tau}_p$. Denna kan kallas för luftens medelålder i det aktuella området. Genom att bilda medelvärdet av luftens medelålder i alla delar av rummet får vi luftens medelålder $\langle \bar{\tau} \rangle$ för totala mängden luft i rummet som är lika med $V \text{ m}^3$. Den tid som det tillförda ventilationsluftflödet, q, i medel uppehåller sig i rummet*) är lika med *ventilationssystemets nominella tidskonstant*, τ_n . Denna är lika med:

$$\tau_n = \frac{V}{q} \quad (\text{h}) \quad (2)$$

I detta fall kan vi alltså förkorta bort dimensionerna så att vi får en storhet med dimensionen tid. För vår lägenhet i det tidigare exemplet blir den nominella tidskonstanten lika med $150/75 \text{ (m}^3/\text{(m}^3/\text{h}))} = 2 \text{ h}$. Den nominella tidskonstanten är direkt given av rummets storlek, V, och av tilluftsflödet av uteluften.

Den tid det tar att byta ut luften i rummet, dvs ersätta den befintliga rumsluftvolymen $V(\text{m}^3)$ med ny luft, ges ej av nominella tidskonstanten. Istället är utbytestiden för luften i rummet direkt relaterad till luftens medelålder, $\langle \bar{\tau} \rangle$, i rummet.

Den tid det i medel tar att byta ut luften i rummet är lika med två gånger luftens medelålder. Den tid det tar att byta ut rumsluften kallar vi för *luftutbytestiden* och vi betecknar den med $\bar{\tau}_r$. Vi har alltså:

$$\text{Luftutbytestiden} \equiv \bar{\tau}_r = 2 \cdot \langle \bar{\tau} \rangle \quad (3)$$

*) Detta är lika med luftens medelålder när den passerar frånluftsdonet

Den teoretiskt kortaste utbytestiden för luften i rummet är lika med τ_n . Det är lätt att visa att kolvströmning ger en utbytestid som är lika med τ_n . Denna strömningstyp representerar ett specialfall. I alla i praktiken vanligt förekommande fall är utbytestiden längre.

Luftutbyteseffektiviteten, ϵ_a , definierar vi därför som kvoten mellan den nominella tidskonstanten och utbytestiden för luften i rummet. Vi betecknar den med ϵ_a , alltså:

$$\epsilon_a = \frac{\tau_n}{2\langle\bar{\tau}\rangle} \times 100 = \frac{\tau_n}{\bar{\tau}_r} \times 100 (\%) \quad (4)$$

Luftens åldersfördelning - Några typfall

Både luftens medelålder i hela rummet och lokalt inom en del av rummet kan vi bestämma med hjälp av spårgasteknik. En mätprincip baseras på att hela rummet fylls upp med spårgas som med blandningsfläktar blandas om till likformig koncentration i hela rummet. Därefter slås blandningsfläktarna av och vi mäter hur snabbt luften kommer fram och ersätter spårgasen.

BILD 2 illustrerar kolvströmning. Kolvströmning är, som nämnts ovan, en ideal strömning som ej uppträder helt i praktiken. Vid tiden noll var all luft i rummet märkt med spårgas som var likformigt fördelad med koncentrationen $C(0)$. Vid kolvströmning fungerar ventilationsluften som en kolv som skjuter luften i rummet framför sig. All ventilationsluft som passerar ett godtyckligt snitt kommer därför fram samtidigt. Denna tidpunkt är alltså luftens medelålder, $\bar{\tau}_p$, i punkten p. Registrerar vi i en godtycklig punkt koncentrationen som funktionen av tiden får vi en rektangel med höjden lika med begynnelsekoncentrationen $C(0)$ och längden lika med $\bar{\tau}_p$. Ytan blir därför lika med $C(0) \cdot \bar{\tau}_p$. Dividerar vi den uppmätta ytan med begynnelsekoncentrationen $C(0)$ får vi alltså följande samband:

$$\bar{\tau}_p = \frac{Yta}{C(0)} \quad (5)$$

Sambandet (5) har vi här visat för ett mycket speciellt fall. Men man kan visa att relationen (5) gäller generellt, och vi kan alltid mäta upp luftens medelålder i en godtycklig punkt genom att beräkna ytan under avklingningskurvan. Detta är i princip mycket enkelt, se diskussionen längre fram i anslutning till BILD 5.

Vid ideal kölvströmning visas i BILD 2 att luftens medelålder i olika delar av rummet ökar linjärt med avståndet från till-luftsdonet och att ventilationsluftens medelålder när den passerar frånluftsdonet är lika med V/q , som vi skall förvänta oss. Enligt BILD 2 är luftens medelålder i rummet lika med $\tau_n/2$. Enligt (3) ger detta en utbytestid för luften i rummet som är lika med τ_n . Enligt BILD 2 stämmer detta exakt. All luft i rummet är utbytt efter tiden τ_n . Luftutbyteseffektiviteten blir i detta fall alltså 100%.

BILD 3 visar registrerad koncentration som funktion av tiden vid fullständig omblandning. Vi får den välkända avklingningskurvan som uttryckt i τ_n ($\tau_n = \frac{V}{q}$), blir:

$$C(\tau) = C(0)e^{-\tau/\tau_n} \quad (6)$$

Ytan under kurvan får vi genom att integrera (6) med avseende på tiden.

$$Y_{\text{tan}} = C(0) \int_0^{\infty} e^{-\tau/\tau_n} d\tau = C(0) \cdot \tau_n$$

Enligt sambandet (5) blir luftens medelålder $\bar{\tau}_p$ lika med:

$$\bar{\tau}_p = \frac{Y_{\text{ta}}}{C(0)} = \tau_n$$

Vid fullständig omblandning får vi nu överallt samma avklingningskurva (6) och luftens medelålder i alla delar av rummet blir lika med τ_n . Därav följer att luftens medelålder i rummet blir τ_n och utbytestiden för luften i rummet blir enligt (3) lika med $2 \cdot \tau_n$. Nu är dock inte all luft i rummet utbytt efter denna tid. Kvar finns fortfarande $\approx 14\%$ av den ursprungliga luften. Utbytestiden anger endast hur lång tid det i *medel* tar att byta ut luften i rummet. Luftutbyteseffektiviteten blir vid fullständig omblandning lika med 50%.

BILD 4 visar förloppet vid s k kortslutningsströmning. Det tar nu lång tid för luften att komma fram och ersätta spårgasen. Vi får en s k stagnationszon. Ytan under spårgaskurvan blir större än vid fullständig omblandning och vi får:

$$\bar{\tau}_p > \tau_n$$

Vid utpräglad kortslutningsströmning upptar stagnationszonen en stor andel av rummets volym och luftens medelålder i hela rummet blir följaktligen större än τ_n . Utbytestiden för luften i rummet blir enligt (3) större än $2\tau_n$ och luftutbytes-effektiviteten blir följaktligen lägre än 50%. I TABELL 1 ges en sammanställning av luftutbyteseffektiviteten vid olika luftströmningsförhållanden.

TABELL 1. Utbytestiden för luften i rummet vid olika luftströmningsförhållanden

Luftströmning	Utbytestiden, $\bar{\tau}_r$, för luften i rummet	Luftutbyteseffektivitet ϵ_a
Kolvströmning	τ_n	100%
Deplacerande (tendens till kolvströmning)	$\tau_n < \bar{\tau}_r < 2\tau_n$	$50 \leq \epsilon_a < 100\%$
Fullständig omblandning	$\bar{\tau}_r = 2\tau_n$	$\epsilon_a = 50\%$
Kortslutningsströmning	$\bar{\tau}_r > 2\tau_n$	$\epsilon_a < 50\%$

Luftens medelålder i rummet kan bestämmas genom mätning i enbart frånluften. Detta kan göras genom t ex avklingningsförsök. Först fyller vi upp hela rummet med spårgas som med blandningsfläktar blandas om till likformig koncentration i hela rummet. Därefter slås blandningsfläktarna av. Koncentrationen i frånluften, $C_e(\tau)$, mätes med jämna tidsintervall, $\Delta\tau$. I BILD 5 visas hur man beräknar luftens medelålder i rummet. Man delar in kurvan i ett antal deltrapetsar (den skrafferade ytan i BILD 5). Ytan av varje deltrapets är ungefär lika med $(C_i \Delta\tau)$. Totala ytan under kurvan får vi som summan, $\Sigma(C_i \Delta\tau)$, av alla deltrapetsers ytor. Luftens medelålder i rummet får vi genom att först multiplicera varje deltrapets' yta med motsvarande mättid, τ_i . För varje deltrapets får vi då storheten, $\tau_i(C_i \Delta\tau)$, som vi summerar ihop för alla deltrapetsar. Den erhållna summan, $\Sigma \tau_i(C_i \Delta\tau)$, dividerar vi sedan med totala ytan under kurvan. Luftens medelålder när den lämnar rummet kan även bestämmas genom utsläpp av en kort puls av spårgas i tilluften eller genom att kontinuerligt injicera spårgas i tilluften.

I BILD 6 visas exempel på uppmätt luftutbyteseffektivitet för tre olika system. Ventilationsluften har använts som energibärare vid både uppvärmning och kylning. Luftutbyteseffektiviteten ges som funktion av tillförd eller bortförd effekt per m^2 golvarea och som funktion av temperaturskillnaden mellan till- och frånluften. I nästa bild, BILD 7, visas några exempel på uppmätningar av luftens åldersfördelning i vertikalled.

För systemet i vänstra delfiguren i BILD 7 ser vi att det tar mycket lång tid för luften att komma fram till vistelsezonen. I detta fall blir vistelsezonen mycket dåligt genomventilerad. Hela vistelsezonen blir en stagnationszon. För systemet i högra delfiguren har vi en helt annan situation. Luften kommer snabbt fram till vistelsezonen, med följd att den blir väl genomventilerad. Vi ser alltså att med kännedom om luftens ålder kan vi avgöra om vi har en bra eller dålig genomventilering av vistelsezonen. Detta är en viktig information som kan utnyttjas av en konstruktör vid val av lämpligt system.

FÖRORENINGAR

Luftutbyteseffektiviteten definierad i förra avsnittet är i allmänhet bara en indikator på hur effektivt ventilationssystemet förmår avlägsna föroreningar som är producerade i rummet.

Luftkvalitet uttryckt i föroreningskoncentrationer beror även på andra faktorer som källstyrka och föroreningens egenskaper. Vi kan klassificera föroreningskällorna efter flera indelningsgrunder:

- * Utsträckning i rummet (punkt, linje, yta eller homogen)
- * Dynamiskt aktiv eller passiv. Föroreningen är dynamiskt aktiv om den är lättare eller tyngre än den omgivande luften. Den betraktas även som dynamiskt aktiv om den blåses in med en viss hastighet, dvs om den har en viss rörelseenergi.
- * Kortvarigt, intermittent eller kontinuerligt utsläpp.
- * Kemiskt aktiv eller passiv.
- * Adsorberas på ytor eller ej.

Vi skall i fortsättningen förutsätta att föroreningen är kemiskt passiv och ej adsorberas på ytor.

Även om föroreningarna i det stora hela sprids med luftströmarna kan föroreningarna ha en annan fördelning än ventilationsluften. Detta är självklart om föroreningarna t ex genereras lokalt och föroreningarna är dynamiskt aktiva. I BILD 8 visas ett exempel på olika fördelningar av luft och förorening. I endast två fall är luftens och föroreningarnas fördelning lika:

- * Vid fullständig omblandning av både luft och förorening i rummet.
- * Föroreningskällan är dynamiskt passiv och homogen (genereras i hela rummet med samma källstyrka överallt).

I båda ovanstående fall ges den lokala jämviktsskoncentrationen entydigt av luftens medelålder i punkten ifråga. Ingendera av ovanstående förutsättningar är dock helt uppfyllda i praktiken.

Jämviktsskoncentrationen och medelkoncentrationen i rummet

I nedanstående formler för koncentrationen från en förorening förutsätter vi att föroreningen ej förekommer i uteluften. Om föroreningen förekommer i uteluften subtraheras koncentrationen i uteluften från nedan angivna koncentrationer.

I BILD 9 visas registrerad koncentration vid ett kontinuerligt föroreningsutsläpp i rummet.

Plötsligt, vid en tidpunkt som i BILD 9 kallas $\tau = 0$, börjar en förorening avges med ett konstant flöde \dot{m} (kg/h). Under en övergångsperiod stiger föroreningskoncentrationen (stegsvar) i rummet men man uppnår efter en stund jämvikt och koncentrationen blir konstant. Jämvikt uppnås när lika stor mängd förorening per tidsenhet transporteras bort som produceras per tidsenhet. Jämviktsskoncentrationen i frånluften, $C_e(\infty)$, är då lika med kvoten mellan per tidsenhet producerad mängd förorening och ventilationsluftflödet, alltså:

$$C_e(\infty) = \frac{\dot{m}}{q} \quad (7)$$

Om medelkoncentrationen i rummet vid jämvikt betecknas med $\langle C(\infty) \rangle$, så är totala mängden förorening i rummet vid jämvikt lika med $V \cdot \langle C(\infty) \rangle$. Föroreningens ålder när den lämnar rummet betecknar vi med τ_e^C . Följande samband gäller mellan totala mängden förorening i rummet och föroreningens medelålder

när den lämnar rummet:

$$V \cdot \langle C(\infty) \rangle = \dot{m} \cdot \tau_e^C \quad (8a)$$

Uttryckt i ord säger relationen (8a) att mängden förorening i rummet är lika med mängden förorening som genereras per tidsenhet multiplicerad med föroreningens medelålder när den lämnar rummet.

Dividerar vi med V får vi att medelkoncentrationen i rummet kan uttryckas som:

$$\langle C(\infty) \rangle = \frac{\dot{m}}{V} \tau_e^C \quad (8b)$$

Med hjälp av uttrycket (2) för volymen V och sambandet (7) för jämviktskoncentrationen i frånluften kan (8b) skrivas som:

$$\langle C(\infty) \rangle = C_e(\infty) \frac{\tau_e^C}{\tau_n} \quad (8c)$$

Föroreningens medelålder när den lämnar rummet, τ_e^C , varierar beroende på föroreningens egenskaper och luftströmningsförhållandena.

Detta illustreras i BILD 10, som visar fotografier från två försök. Föroreningen visualiseras med rök. I övre bilden når föroreningen snabbt frånluftsdonet och föroreningens medelålder när den lämnar rummet blir därför liten. Däremot i undre bilden blir föroreningen delvis 'inlåst' och det tar därför lång tid att evakuera föroreningen.

BILD 11 visar hur föroreningens medelålder när den lämnar rummet, τ_e^C , kan beräknas från mätningar av koncentrationen i frånluften vid ett 'step-up'-försök. 'Step-up'-försök innebär att man reglerar föroreningsutsläppet så att man vid tidpunkten noll momentant startar föroreningsgenereringen. Den markerade ytan är föroreningens ålder när den lämnar rummet.

Medelventilationseffektivitet och lokalt ventilationsindex

Medelventilationseffektivitet, $\langle \epsilon \rangle^C$, vid ett visst föroreningsutsläpp i rummet definierar vi som kvoten mellan koncentrationen i frånluften, $C_e(\infty)$, och medelkoncentrationen i rummet, $\langle C(\infty) \rangle$:

$$\langle \varepsilon \rangle^C = \frac{C_e(\infty)}{\langle C(\infty) \rangle} \times 100 \quad (9a)$$

Detta är i överensstämmelse med den klassiska definitionen av ventilationseffektivitet som tillämpats av bl a Yaglou och Witheridge (1937) i USA samt Rydberg och Kulmar (1947) i Sverige.

Med hjälp av (8c) kan vi uttrycka medelventilationseffektiviteten i ålderstermer:

$$\langle \varepsilon \rangle^C = \frac{\tau_n}{\tau_e} \times 100 \quad (9b)$$

Medelventilationseffektiviteten är således kvoten mellan luftens medelålder och föroreningens medelålder vid utträde ur rummet. Medelventilationseffektiviteten kan bli större än 100%. I BILD 12 visas exempel på uppmätt ventilationseffektivitet för golv- till taksystemet i BILD 6. Medelventilationseffektiviteten har beräknats enligt relationen (9b).

Föroreningar som både var tyngre (●), lättare (○) och med ungefär samma densitet som luft (⊙) släpptes ut mitt i rummet.

Medelventilationseffektiviteten, $\langle \varepsilon \rangle$, som är definierad ovan, är baserad på medelkoncentrationen i hela rummet. Givetvis förekommer normalt inom rummet stora avvikelser från rumsmedelkoncentrationen. Till exempel i en stor industrihall kan det vara stora skillnader mellan koncentrationen i vistelsezonen respektive koncentrationen strax under taket.

För att beakta de lokala koncentrationsnivåerna inför vi därför slutgiltigt ett *lokalt ventilationsindex*, ε_p , för en godtycklig punkt p i rummet.

$$\varepsilon_p = \frac{C_e(\infty)}{C_p(\infty)} \times 100 \quad (\%) \quad (10)$$

$C_p(\infty)$ = Jämviktskoncentrationen i punkten p

Storleksordningen på det lokala ventilationsindex är naturligtvis starkt beroende av mätpunktens läge. Med en mätpunkt nära tilluftsdonet kan ε_p , oberoende av systemtyp teoretiskt bli oändligt stort. Därför kallas ε_p för ett ventilationsindex.

Överskottsvärme kan betraktas som en förorening. Därför kan vi i formel (9a) respektive formel (10) byta ut koncentrationen mot övertemperatur och vi får då temperatureffektivitet.

Kortvarigt eller intermittent utsläpp

Hittills har vi förutsatt att föroreningsutsläppet pågått så länge att jämviktskoncentrationen har uppnåtts. Vid kontinuerlig föroreningsalstring uppnås jämviktskoncentrationen först efter en tidsrymd som är lika med ca fyra gånger τ_e^C . Vid små luftflöden i stora volymer (t ex i enfamiljshus) kan det röra sig om flera timmar. Vi kan jämföra detta med den tid det tar att röka en cigarett som är ca 4-5 minuter. Kortvariga utsläpp kallas de utsläpp av föroreningar som pågår under en tidsrymd som är mycket kort i förhållande till τ_e^C .

Vid kortvariga utsläpp är man främst intresserad av totala dosen (ibland kallad totala exponeringen). Den totala dosen D_p är lika med ytan under koncentrationstidskurvan, se BILD 13. Vi har följande samband mellan den totala dosen i punkten p och jämviktskoncentrationen i samma punkt vid ett kontinuerligt utsläpp:

$$C_p^{(\infty)} = \frac{\dot{m}}{m} D_p \quad (11)$$

m = Utsläppt mängd i det kortvariga utsläppet.

Förutsättningarna för att relationen (11) gäller är att strömningsbilden är densamma både vid kontinuerliga respektive det kortvariga utsläppet.

Ofta pågår föroreningsutsläppet 'on-off' utan att jämviktskoncentrationen någonsin uppnås. Föroreningskoncentrationen vid ett sådant intermittent utsläpp visas i BILD 9. Snabbheten i utvädringsfasen, dvs när föroreningsutsläppet upphört, bestäms till stor del av luftens strömningsbild i rummet. Det vill säga en hög luftutbyteseffektivitet innebär att vi får en snabb evakuering av föroreningen. Detta innebär att dosen (exponeringen) blir lägre.

SAMMANFATTNING

Begreppen som presenteras i artikeln ger ett underlag för en adekvat beskrivning av främst allmänventilationens funktion vid olika driftsförhållanden. Med tillgång till uppgifter om medelventilationseffektiviteten och luftutbyteseffektiviteten kan systemkonstruktören välja ett effektivt ventilationssystem. För att säkerställa en bra funktion vid både kontinuerliga och kortvariga föroreningsutsläpp bör konstruktören sträva efter att placera till- och frånluftsdonen så att både god luftutbytes- och ventilationseffektivitet uppnås.

REFERENSER

1. Nordtest metod NT VVS019. Buildings - Ventilation Air: Local Mean Age.
2. Nordtest Project: 366-82 Part 2. A proposed method for: Determination of mean-age of air in a ventilated space.

SYMBOLER

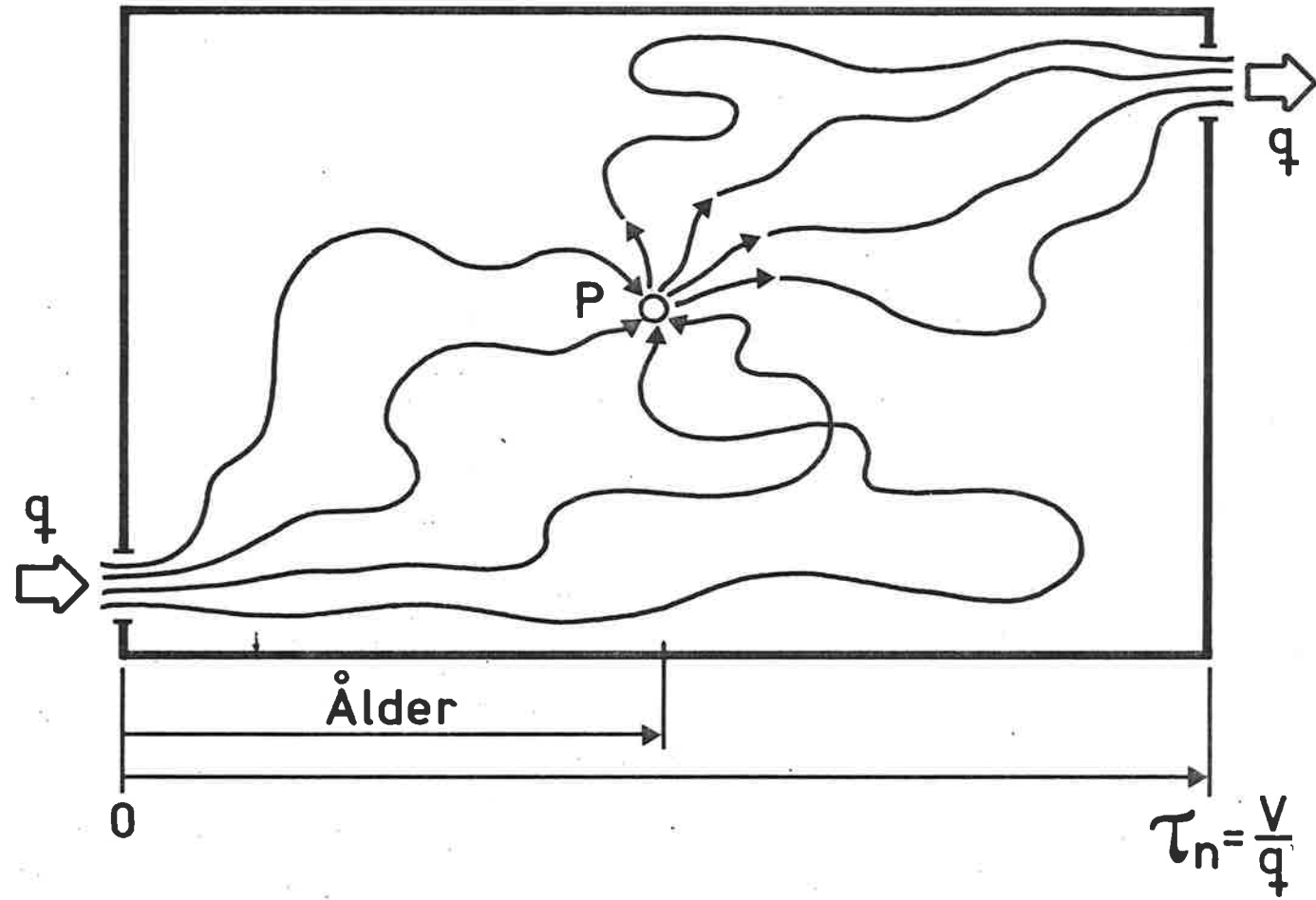
$C(0)$	Koncentrationen vid tiden noll
$C_e(\infty)$	Jämviktskoncentrationen i frånluften
$C_p(\infty)$	Jämviktskoncentrationen i punkten p
$\langle C(\infty) \rangle$	Rumsmedelvärdet av jämviktskoncentrationen
D_p	Totala föroreningsdosen i punkten p
m	Utsläppt mängd förorening vid ett kortvarigt utsläpp
\dot{m}	Utsläppt mängd förorening per tidsenhet vid ett kontinuerligt utsläpp
n	Specifika flödet ($n = \frac{q}{V}$)
q	Volymflödet av 'ren' luft
ΔT	Temperaturskillnaden mellan till- och frånluften
V	Nettovolym

GREKISKA SYMBOLER

ε_a	Luftutbyteseffektiviteten ($\varepsilon_a = \frac{\tau_n}{\tau_r} \times 100$)
ε_p	Lokalt ventilationsindex ($\varepsilon_p = \frac{C_e(\infty)}{C_p(\infty)} \times 100$)
$\langle \varepsilon \rangle^C$	Medelventilationseffektivitet i rummet ($\langle \varepsilon \rangle^C = \frac{C_e(\infty)}{\langle C(\infty) \rangle} \times 100$)
τ	Tid
$\Delta \tau$	Tidsintervallet mellan koncentrationsmätningarna
τ_n	Ventilationssystemets nominella tidskonstant $\tau_n = \frac{V}{q}$
$\bar{\tau}_p$	Luftens medelålder i punkten p
$\bar{\tau}_r$	Luftutbytestiden för rumsluften
$\langle \bar{\tau} \rangle$	Rumsmedelvärdet av luftens ålder
τ_e^C	Föroreningens medelålder när den lämnar rummet

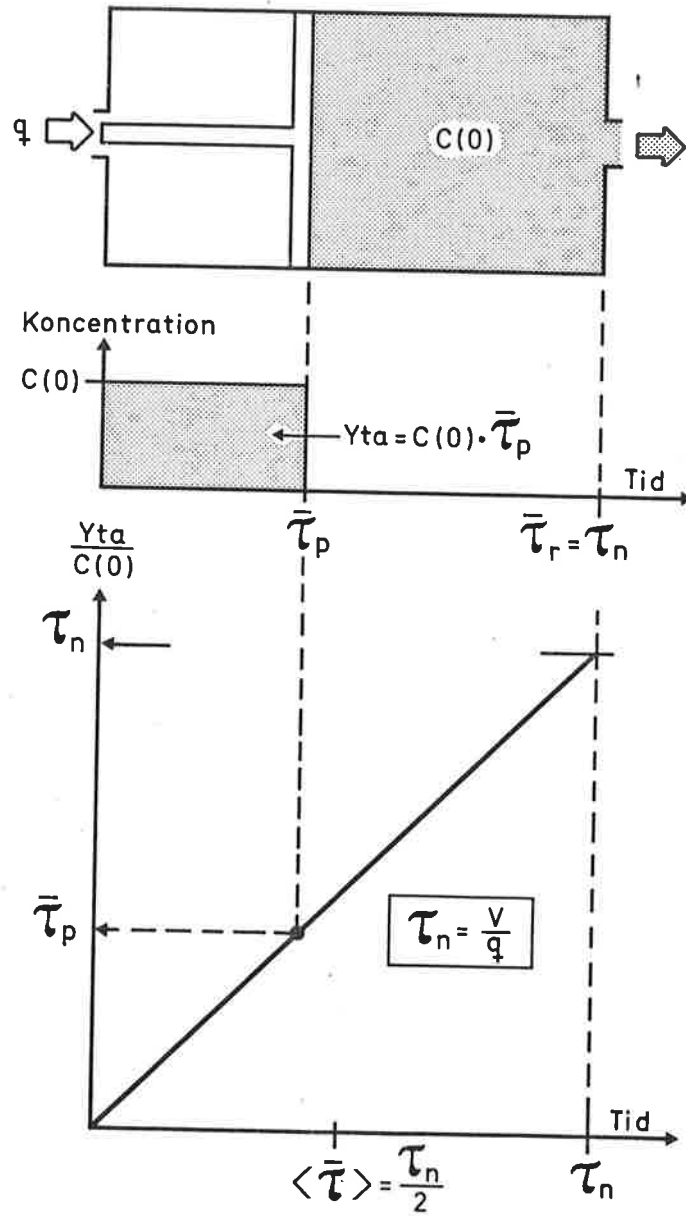
FIGURTEXTER

- FIGUR 1. Definition av luftens ålder
 $V =$ rummets volym
- FIGUR 2. Luftens ålder. Kolvströmning
- FIGUR 3. Luftens ålder. Fullständig omblandning
- FIGUR 4. Luftens ålder. Kortslutningsströmning.
För jämförelse är inlagd koncentrationskurvan
vid fullständig omblandning
- FIGUR 5. Bestämning av luftens medelålder i rummet
genom uppmätning i frånluften
- FIGUR 6. Uppmätt luftutbyteseffektivitet.
Små symboler avser försök i tomt rum.
Stora symboler avser försök med en person i
rummet (SIBMAN)
- FIGUR 7. Luftens medelålder i vertikalled
- FIGUR 8. Skillnad mellan luftens fördelning i rummet
och en föroreningsfördelning
- FIGUR 9. Kontinuerligt respektive intermittent
utsläpp
- FIGUR 10. Rökvisualisering av föroreningsutsläpp.
Övre bilden. Snabb evakuering av föroreningen.
Undre bilden. Långsam evakuering av föroreningen.
- FIGUR 11. Föroreningens omsättningstid erhållen ur ett
step-up-försök. C_e är koncentrationen i från-
luften.
- FIGUR 12. Uppmätt medelventilationseffektivitet för olika
typer av simulerade föroreningar.
- FIGUR 13. Sambandet mellan stationära koncentrationen och
den totala dosen vid ett kortvarigt utsläpp.

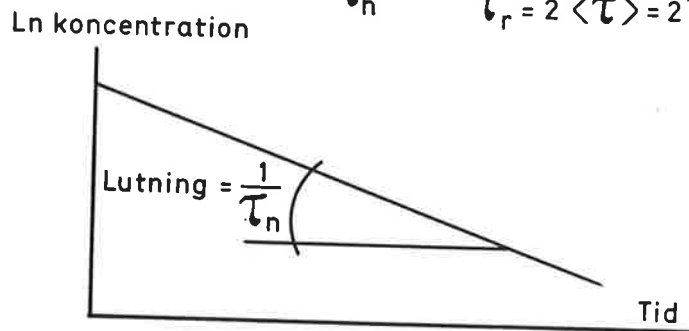
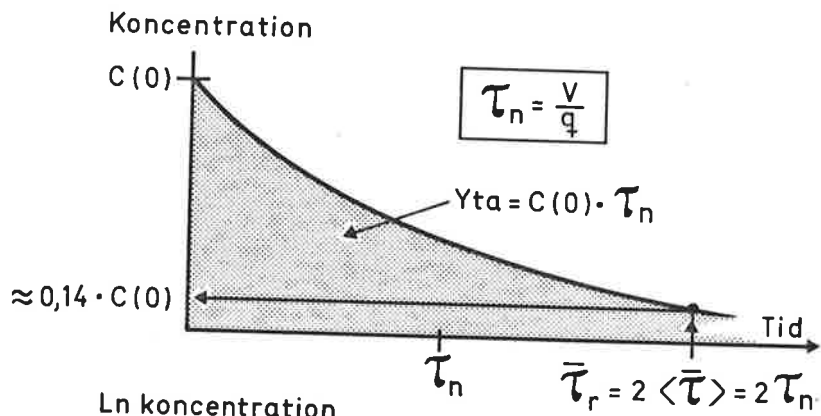
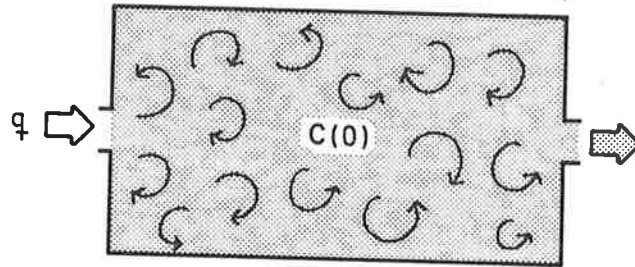


7

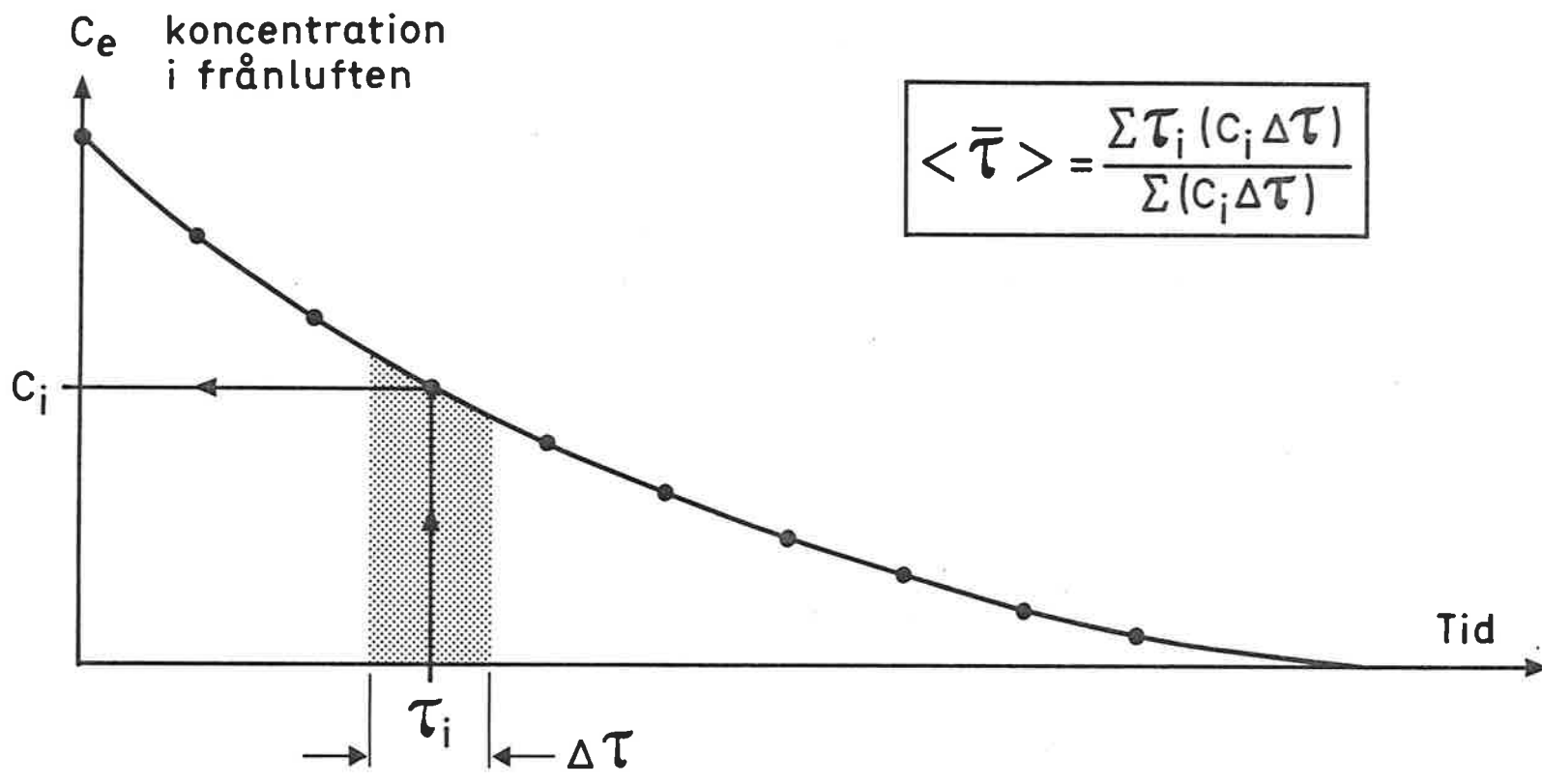
Kolvströmning



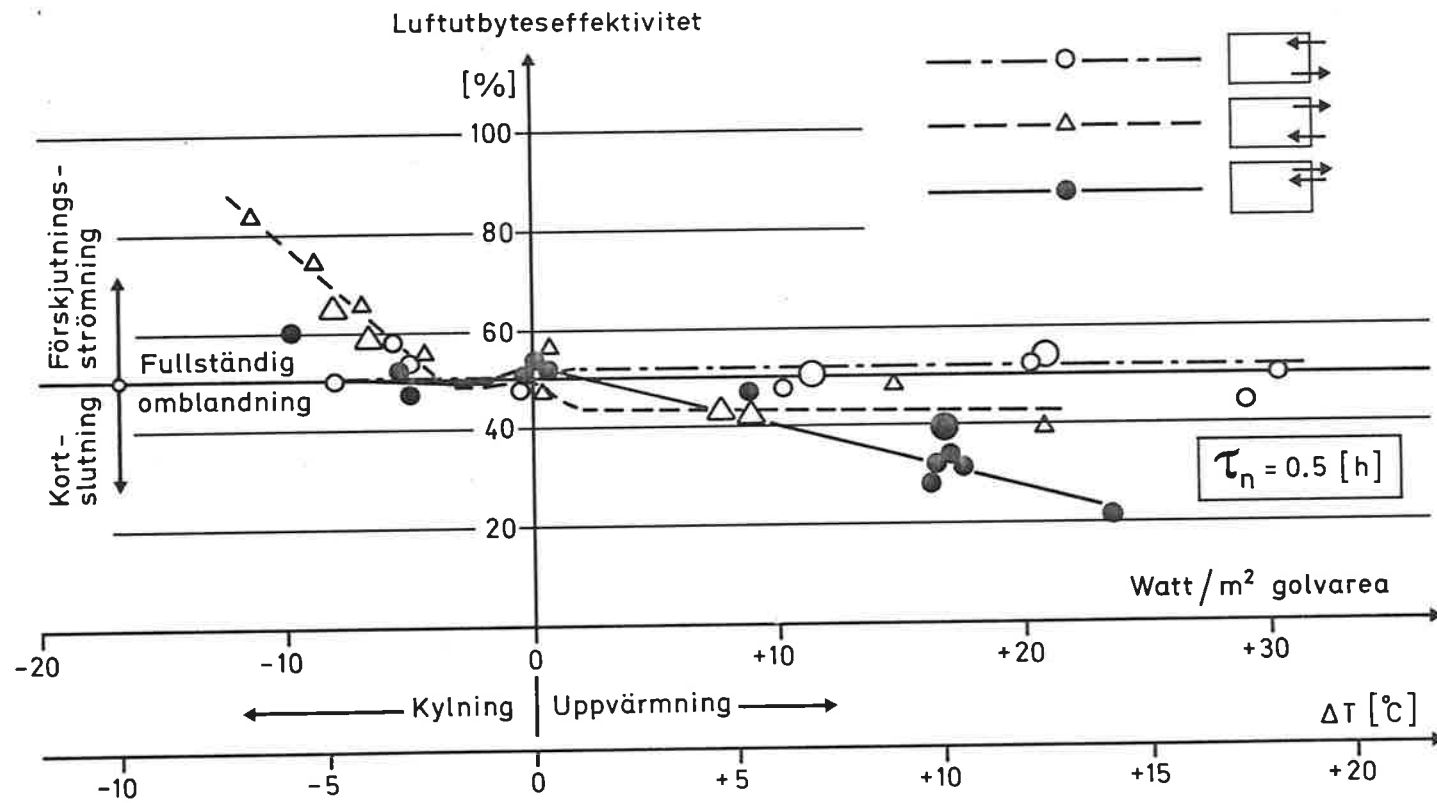
Fullständig omblandning

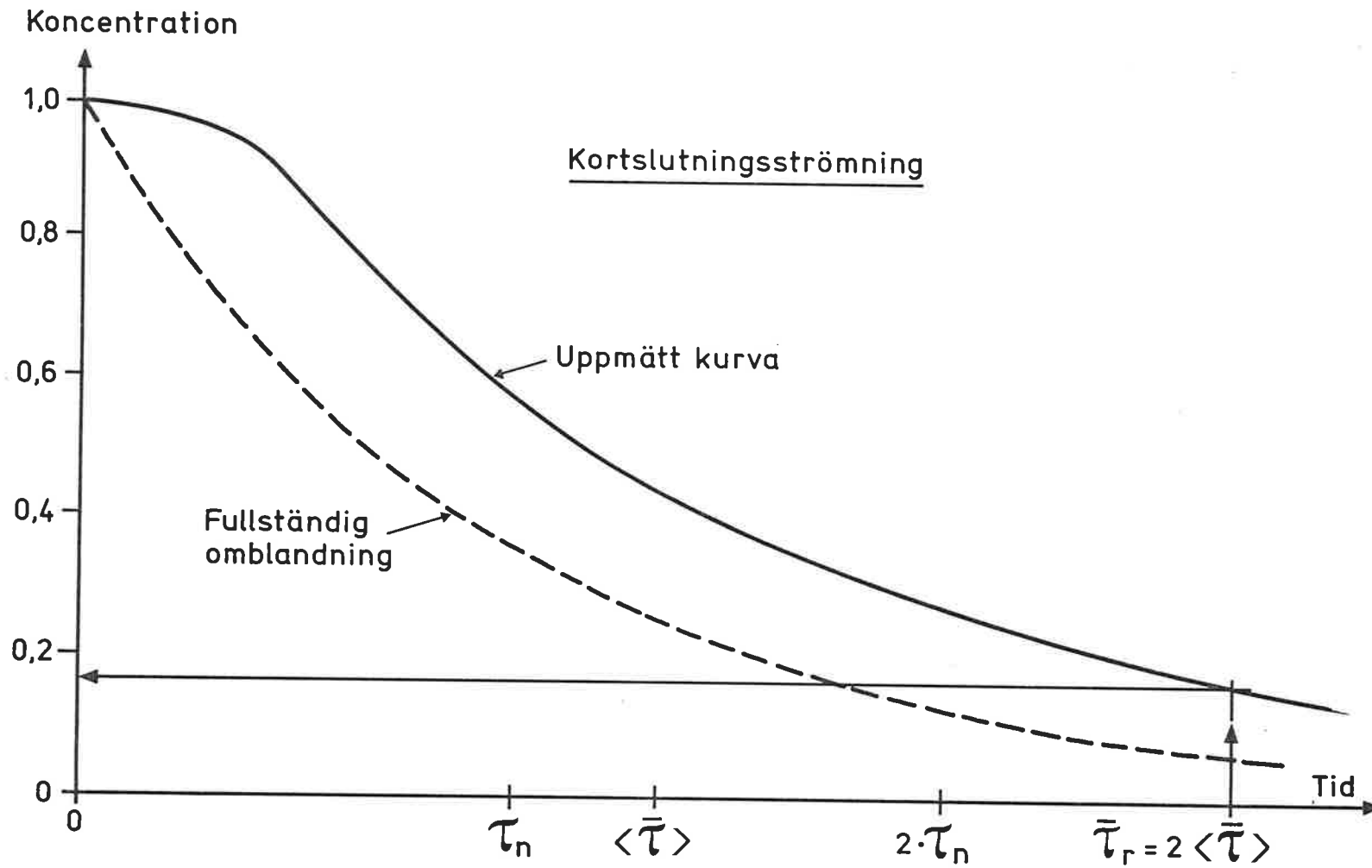


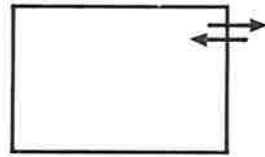
I varje punkt: $\frac{Y_{ta}}{C(0)} = \tau_n$



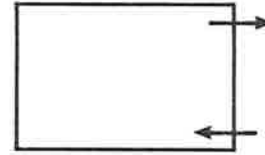
$$\langle \bar{\tau} \rangle = \frac{\sum \tau_i (C_i \Delta\tau)}{\sum (C_i \Delta\tau)}$$





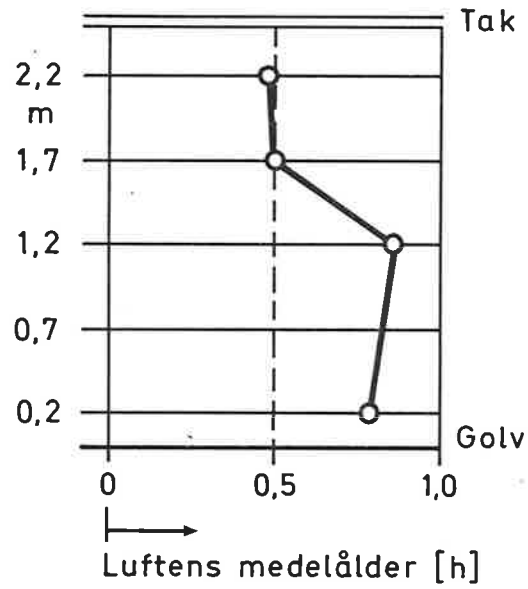


$$\tau_n = 0,5 \text{ h}$$

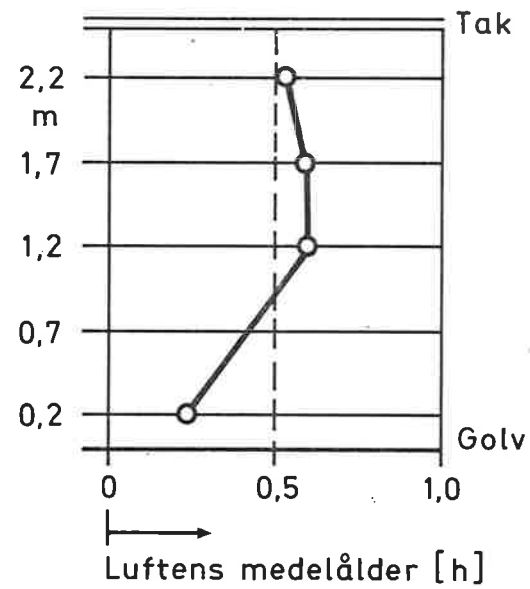


$\Delta T = +10,0^\circ\text{C}$

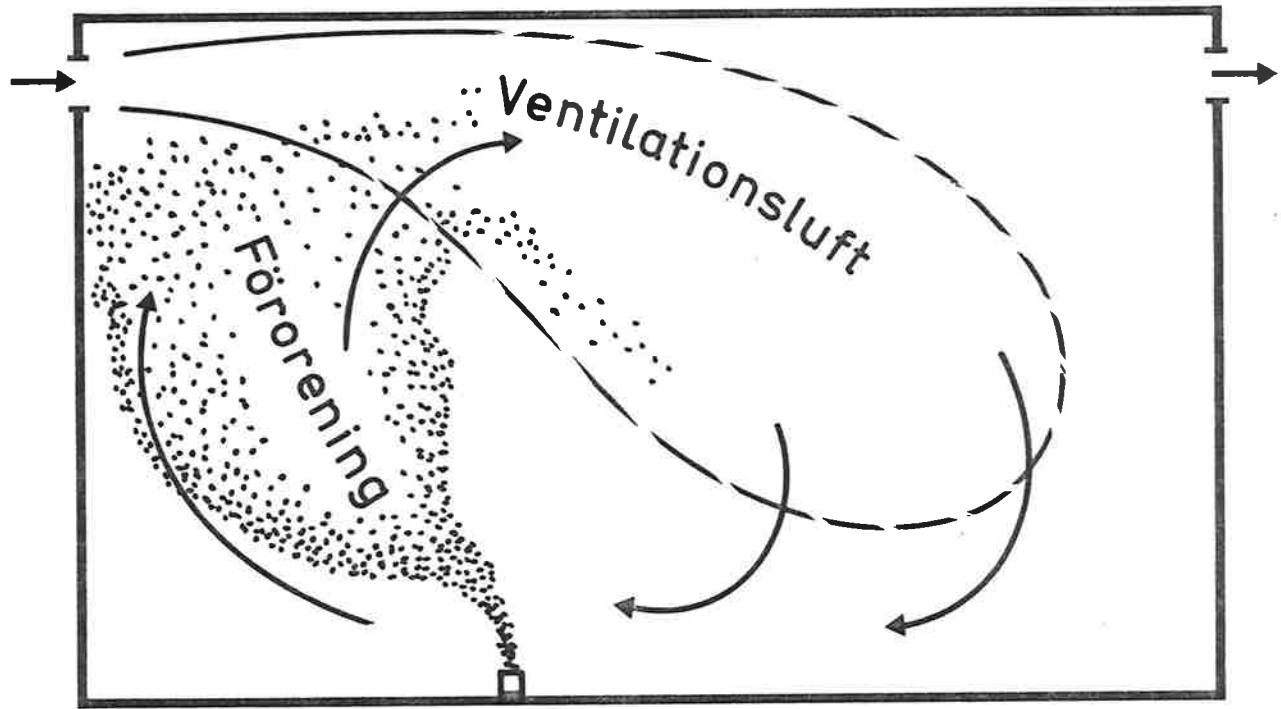
$\Delta T = -3,5^\circ\text{C}$



$$\langle \bar{\tau} \rangle = 0,66 \text{ h}, \epsilon_a = 38\%$$

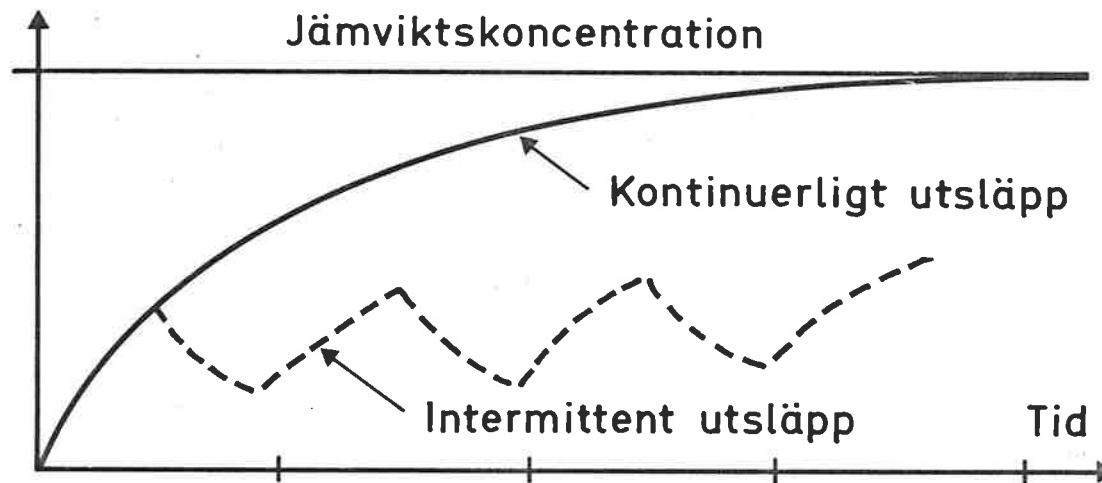


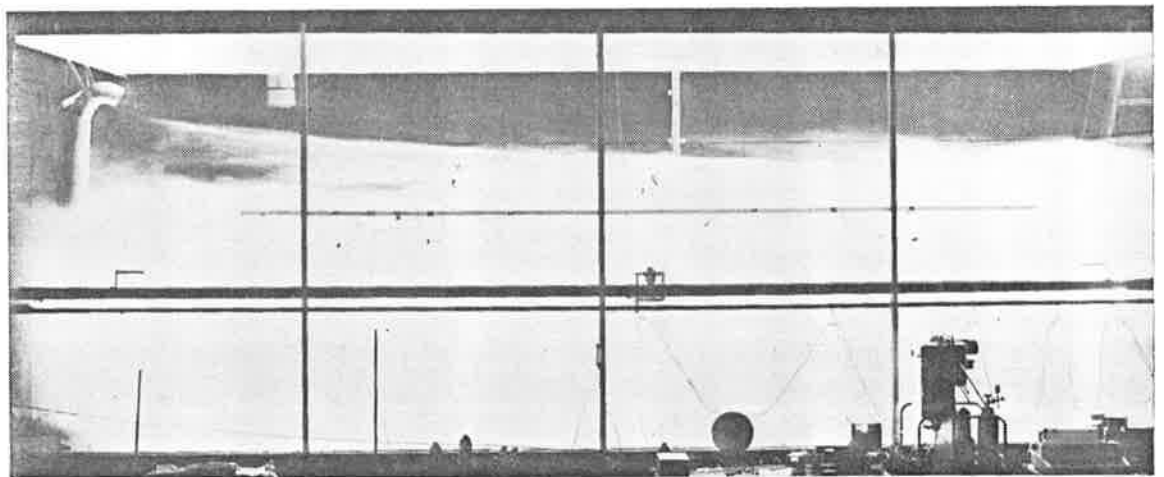
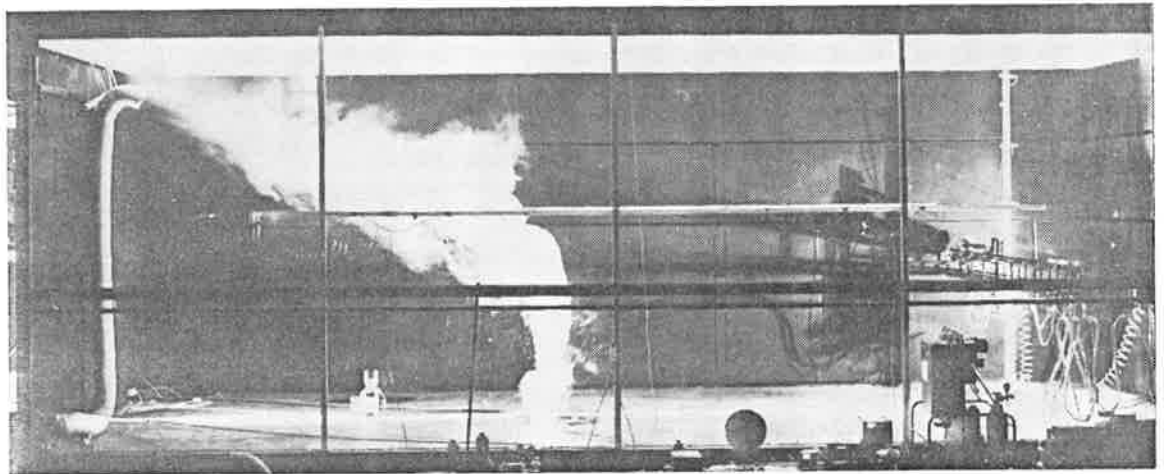
$$\langle \bar{\tau} \rangle = 0,39 \text{ h}, \epsilon_a = 64\%$$



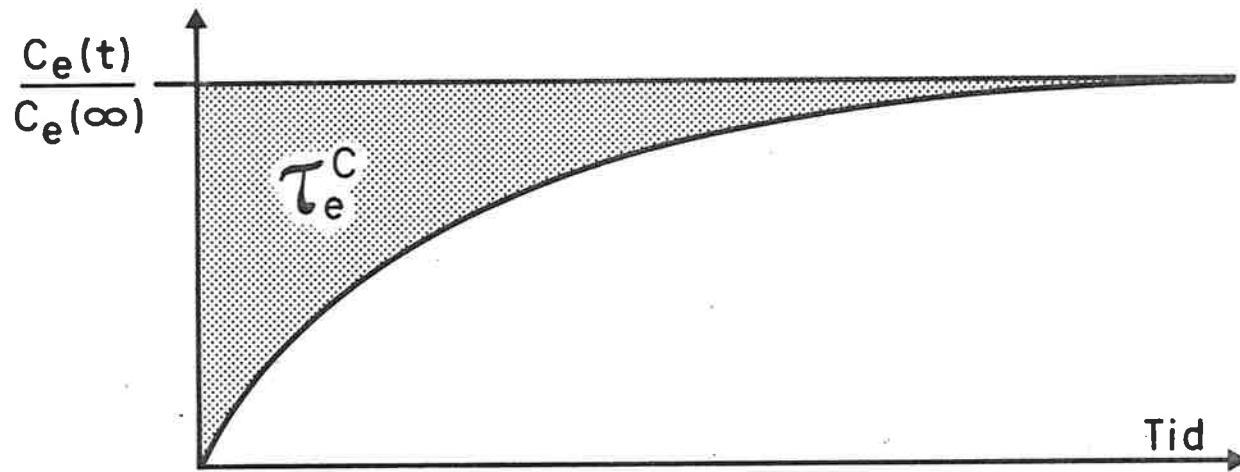
②

Koncentration





10



(11)

