



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EHITUSTEADUSKOND

Keskkonnatehnika instituut
Kütte ja ventilatsiooni õppetool

**CO₂ MÄRKEGAASI MEETODITE KASUTAMINE
VENTILATSIOONI TOIMIVUSE HINDAMISEL**

THE USAGE OF CO₂ TRACER GAS METHODS FOR VENTILATION
PERFORMANCE EVALUATION

EKK 60 LT

Üliõpilane: **Juhan Rehand**

Juhendaja: **Insener Alo Mikola**

Tallinn, 2016.a.

Kokkuvõte

Käesolevas magistritöös uuriti maailmas küllaltki levinud, kuid Eestis vähe kasutatud märkegaasi meetodil õhuvahetuse ja selle efektiivsuse mõõtmist. Peamiselt keskenduti kontsentratsiooni languse meetodile, kuid uuriti ka konstantse doseerimise meetodi alla liigituvat ainevahetusliku CO₂ meetodit. Märkegaasina kasutati süsihappegaasi, sest see on lihtsasti mõõdetav, suhteliselt odav ning füüsikaliste omaduste poolest küllaltki lähedane õhule, mis on märkegaasi valikul oluline tingimus. Märkegaasi doseerimiseks kasutati kuiva jääd, mis ruumis aurustati.

Laboratoorsete mõõtmiste käigus mõõdeti fikseeritud õhuvooluhulgal kontsentratsiooni languse meetodil õhuvahetust ja selle efektiivsust erinevate sissepuhketemperatuuride ja õhujaotusviiside korral. Analüüsi tulemusena selgus, et nimetatud tegurid mõjutavad teataval määral mõõtetulemust, kuid keskmiselt 12 protsendiline erinevus seadesuurusest kinnitab autori hinnangul meetodi sobivust õhuvahetuse mõõtmiseks. Õhuvahetuse efektiivsuse mõõtmisel tuvastati, et laealuse liibuva õhujoaga on võimalik saavutada ideaalselt segunev õhuvahetus, seejuures on tõhusam madalam sissepuhketemperatuur. Laminaarsete õhujaotajatega tõrjuvale õhuvahetusele teoreetiliselt vastavat õhuvahetuse efektiivsust ei saavutatud.

Testmaja tingimustes mõõdeti ühtlasi kolme ruumipõhise ventilatsioonilahenduse õhuvahetuse efektiivsust. Uuritud süsteemid olid regeneratiivse soojustagastiga paariseseade Inventer 14R, rekuperatiivse soojustagastiga Meltem M-WRG-K agregaat ning värskeõhuradiaator Purmo Air kombineeritult mehaanilise väljatõmbega. Mõõtetulemused näitasid, et olenemata kasutatavast ventilaatori võimsusest toimub kõigi nimetatud seadmete puhul ruumiõhu täielik segunemine. See näitab, et õhuvahetuse efektiivsuse seisukohalt sobivad need ruumipõhiseks kasutamiseks. Küll aga ei taga kõrge õhuvahetuse efektiivsus automaatselt ruumis head siseõhu kvaliteeti.

Töö käigus teostati märkegaasiga mõõtmised ka loomuliku ventilatsiooniga korterites, kus selgus, et õhuvahetuse efektiivsuse seisukohalt on oluline sisemiste uste asend. Suletud ukse korral oli magamistoa lokaalne õhuvahetuse indeks segunevale õhuvahetusele vastavast kuni 39% võrra madalam, avatud ukse puhul aga oli õhuvahetus kogu korteri lõikes ühtlane. Selle põhjal järelitati, et magamistoa õhuvahetust arvatades peaks suletud ja avatud ukse korral efektiivseks ruumalaks arvestama vastavalt ainult magamistoa ja kogu korteri kubatuuri.

Korterite õhuvahetust mõõdeti kontsentratsiooni languse meetodil nii kunstliku kui ka loomuliku märkegaasi kontsentratsiooni tõstmisega ja ainevahetusliku CO₂ meetodil, kus efektiivne ruumala oli arvestatud vastavalt ülalpool kirjeldatule. Kõigi kolme meetodi puhul saadi võrreldavaid tulemusi, mis kinnitab nende sobivust õhuvahetuse mõõtmiseks. Loomuliku kontsentratsiooni languse meetodi ja ainevahetusliku CO₂ meetodi eeliseks on see, et nende läbiviimine ei sega inimeste igapäevast elurütmi, vaid põhinebki korteris esineval loomulikul CO₂ sisalduse ööpäevasel muutumisel, mis on tingitud inimeste kodus- ja eemaloleku perioodidest.

Võõrkeelne resümee

The Usage of CO₂ Tracer Gas Methods for Ventilation Performance Evaluation

Summary

The purpose of the thesis was to investigate the potential of using tracer gas methods for ventilation air change rate and effectiveness measurements. Tracer gas methods, despite being rarely used in Estonia, are common practice for assessing the performance of ventilation systems in many countries. The objective of the paper was to study the concentration decay method in detail and provide a valuable insight into the application of metabolic constant dosing strategy. Carbon dioxide was used as a tracer gas because it is easily measurable and relatively cheap compared to other potentially suitable tracer gases. Furthermore, the physical properties of CO₂ are rather similar to air, which is an important condition for selecting tracer gas. Frozen CO₂ (dry ice) was used for tracer gas dosing.

Air change rates and effectiveness were measured in laboratory conditions using concentration decay method. The measurements were conducted on the fixed air supply rate with various supply air temperatures and air distribution strategies. As a result of the analysis, it was concluded that those parameters had a certain impact on the outcome of the tracer gas air change rate measurements. The average difference between the setpoint value and the test results was 12%, which can be considered small enough to indicate the applicability of the tracer gas concentration decay method. The test results for assessing air change effectiveness showed that nearly ideal mixed ventilation was achieved with horizontal supply air jet from the overhead air diffuser. Furthermore, lower supply air temperature increased the air change effectiveness. On the contrary, the desired theoretical effectiveness of displacement ventilation was not achieved by using low-velocity laminar air distribution.

In addition, the air change effectiveness of three different room-based ventilation solutions was measured in the test environment. Tested systems included Inventer 14R and Meltem M-WRG-K air handling units and Purmo Air ventilation radiator, which was combined with mechanical extract ventilation. The test results confirmed that all three solutions were capable of producing fully mixed ventilation. The air change effectiveness was not affected by the variation of the fan speed. This can be considered as an indication that all three systems studied in this thesis are suitable for room based exploitation. It should be noted that high air exchange effectiveness is not the only criteria for providing good indoor air quality.

Tracer gas measurements were carried out in naturally ventilated apartments as well. The test results indicated that the position of the inner doors significantly affects air change effectiveness. The local air change index in the bedroom with closed door was up to 39% lower than it would have been in the case of fully mixed ventilation. When the bedroom door was open, the local air change indexes were the same throughout the whole apartment and in correlation with fully mixed ventilation. Based on the that, it was concluded that the effective volume of the ventilated zone depends on the door position. Consequently, when calculating the air exchange rate in the bedroom with closed or open door, the effective volume used in calculations should be only the volume of the bedroom and the volume of the whole apartment, respectively.

The measurements of air change rate in apartments were performed using three different methods. Concentration decay method was applied with both artificially and naturally increasing the concentration of tracer gas. Metabolic CO₂ emission was the source of tracer gas in the latter case. The air change rate was also calculated using metabolic constant dosing method with the effective volume being chosen based on the principal described above. All three methods produced comparable results, which confirmed the applicability of the studied techniques for measuring air exchange. Unlike other measuring procedures, metabolic methods, which utilize the daily fluctuation of CO₂ concentration in apartments, have the advantage of having no impact on the everyday life of tenants.