

Torsten Ilmoni

LVI-määräykset ja niiden muutokset

D2, määräykset ja kehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari, LVI (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Opinnäytetyö

25.5.2016

Tekijä Otsikko	Torsten Ilmoni LVI-määräykset ja niiden muutokset
Sivumäärä Aika	38 sivua 25.5.2016
Tutkinto	rakennusmestari, LVI (AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka
Ohjaaja	lehtori Jyrki Viranko
<p>Opinnäytetyössä kerrotaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 keskeinen sisältö ja siihen vuosien saatossa tehdyt muutokset. Työssä käydään läpi tärkeät versiot D2:sta, alkaen alkuperäisestä, vuonna 1976 annetusta määräyskokoelman osasta, jatkuen nyt voimassa olevaan, vuonna 2012 voimaan tulleeseen määräyskokoelman osaan.</p> <p>Opinnäytetyö keskittyy kertomaan D2:ssa tapahtuneista muutoksista ja analysoimaan niitä sekä antamaan lisätietoa määräysten ymmärtämiseksi. Opinnäytetyössä otetaan myös kantaa annettuihin määräyksiin.</p> <p>Merkittävimmät muutokset rakentamismääräyskokoelman osien D2 välillä tapahtuivat vuosien 1978 ja 2003 välillä. Näin ollen opinnäytetyö keskittyy vertailemaan näiden ajanjaksojen aikana tapahtuneita muutoksia. Vuosina 2010 ja 2012 säädettyjen D2-osien ja niitä edellisen vuonna 2003 säädetyn D2-osan välillä ei puolestaan merkittäviä muutoksia säädetty, joten opinnäytetyössä ei sen johdosta keskitytä niihin.</p> <p>D2:ta on säädetty yhteensä kuusi kertaa. Alkuperäisestä, hyvin suppeasta D2:sta, on ajan saatossa muodostunut kattava määräyskokoelman osa, joka säätelee laajasti ilmanvaihdon suunnittelua ja toteutusta rakennuksissa.</p>	
Avainsanat	D2, määräys, ilmanvaihto, sisäilmasto

Author Title	Torsten Ilmoni HVAC regulations and their changes.
Number of Pages Date	38 pages 25 May 2016
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructor	Jyrki Viranko, Senior lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to examine the most important parts of the part D2 in the National Building Code of Finland, governing the planning and execution of the indoor climate and ventilation of buildings. The goal was to compare the changes made in the decrees throughout the years, starting from the original one from 1976 and ending in the current one of 2012. The final year project collected an overview of the D2 parts, six in total, concentrating on the most important updates. Additionally, a broader perspective and information with some comments, to ease the understanding of the regulations was created.</p> <p>Especially the changes between the years 1978 and 2003 were focused on. It can be concluded that the D2 has developed from being a concise collection of vague regulations and instructions to highly technical and specific regulations and instructions concerning indoor climate and ventilation of buildings. This examination of the part D2 in the National Building Code of Finland can give help in understanding the need for regulations concerning indoor climate and ventilation, and why changes were made in the legislation.</p>	
Keywords	D2, indoor climate, ventilation, regulation

Sisällys

1	Johdanto	1
2	D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Alkuperäinen painos 1976	1
	2.1.1 Yleiset määräykset	2
	2.1.2 Erityisiä määräyksiä	4
	2.1.3 Kommentteja	4
3	D2 1978	4
	3.1 Virkavallan poikkeusmenettely	4
	3.2 Yleissitovuus	5
	3.3 Keskeiset muutokset	5
	3.4 Painovoimainen ilmanvaihto	5
	3.5 Ilmanvaihtoa koskevat vaatimukset	6
	3.6 Ilmavirrat	6
	3.7 Ilmanvaihtolaitoksia ja ilmanvaihtolaitteita koskevat vaatimukset	8
	3.8 Suunnittelu ja asennus	8
	3.9 Ilmanvaihtolaitosten ohjaus ja säätö	9
	3.10 Ilmanvaihtohormien tiiveys	9
	3.11 Käyttöönotto ja kunnossapito	10
	3.12 Kommentteja	11
4	D2 1987	12
	4.1 Rakennuksen sisäilmasto	12
	4.2 Lämpöolot	13
	4.2.1 Operatiivinen lämpötila	13
	4.2.2 Veto	14
	4.3 Sisäilman puhtaus	15
	4.3.1 Formaldehydi	15
	4.3.2 Radon	16
	4.3.3 Valtioneuvoston päätös no 537/84	17
	4.3.4 Rikkidioksidi	17
	4.3.5 Typpidioksidi ja hiilimonoksidi	18
	4.3.6 Hengitettävät hiukkaset	19
	4.3.7 Hiilidioksidi	20
	4.3.8 Ilmanvaihtolaitteiston äänitaso	20
	4.4 Rakennusten ilmanvaihto ja ilmanvaihtolaitokset	21

4.4.1	Ilmavirrat	21
4.4.2	Jäteilman poistaminen rakennuksesta	21
4.4.3	Ilmanvaihtolaitoksen tiiveys	25
4.4.4	Energiatalous	26
4.4.5	Ilmanvaihtolaitoksen suunnitelmat, toteutus, ja käyttöönotto	28
5	D2 2003	28
5.1	Rakennushankkeeseen ryhtyvän huolehtimisvelvollisuus	29
5.2	Pääsuunnittelijan toimenkuva	29
5.3	Työnjohtajan toimenkuva	30
5.4	Sisäilmasto	31
5.4.1	Ilmanlaatu ja epäpuhtaudet	31
5.4.2	Lämpöolojen suunnittelu	32
5.4.3	Ilmanvaihtojärjestelmän tiukempi tiiviysvaatimus	32
5.4.4	Uudistunut ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuusvaatimus	33
6	D2 2012	34
7	Tulevaisuuden näkymiä	34
	Lähteet	39

1 Johdanto

Suomessa rakentamista säädellään pääasiassa lainsäätäjän toimesta sekä viranomaisten ohjeistuksella ja valvonnalla. Maankäyttö- ja rakennuslaki on tärkeä rakentamista, maankäyttöä, sekä rakennusten korjaamista säätelevä laki Suomessa. Maankäyttö- ja rakennuslaissa sekä asetuksessa todetaan rakentamiseen liittyvät vähimmäisvaatimukset, tärkeimmät tekniset vaatimukset ja luvanhaku.

Valtiovalta on Suomessa vuodesta 1976 lähtien asetuksella antanut tarkempia rakentamista koskevia määräyksiä ja ohjeita. Nämä määräykset ja ohjeet on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Alun perin määräyksiä julkaisi sisäasiainministeriö, mutta vuodesta 1983 niitä on säätänyt ympäristöministeriö.

Määräyskokoelma on jaettu (A) yleiseen osaan, joka käsittelee rakennuksen säilyttämistä, ylläpitoa ja huoltoa, (B) rakenteiden lujuutta käsittelevään osaan, (C) eristyksiä koskeviin määräyksiin, (D) LVI ja energiatalouteen koskeviin määräyksiin, (E) rakenteiden paloturvallisuutta koskeviin määräyksiin, (F) yleiseen rakennussuunnitteluun, sekä (G) asuntorakentamista koskeviin määräyksiin ja ohjeisiin. Rakentamismääräyskokoelman osia on uudistettu ajan saatossa maankäyttö- ja rakennuslain muutosten sekä mm. tiukentuneiden energiantehokkuusvaatimusten takia.

Tämä opinnäytetyö käsittelee rakentamismääräyskokoelman osaa D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Opinnäytetyön tarkoituksena on selostaa lukijalle D2:n keskeistä sisältöä ja siihen ajan saatossa tehtyjä muutoksia. Työ ei ole täydellinen selvitys kaikista annetuista määräyksistä, vaan kirjoittajan oma näkemys tärkeimmistä määräyksistä ja niiden taustoista. Lopuksi esitellään D2:n uudistamistarvetta.

Ensimmäinen D2 säädettiin vuonna 1976. Tämän jälkeen määräykset ja ohjeet on uudistettu viisi kertaa. Viimeisin versio D2:sta säädettiin vuonna 2012.

2 D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Alkuperäinen painos 1976

Sisäasiainministeriö julkaisi ensimmäiset määräykset ja ohjeet koskien rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa 12. marraskuuta 1975. Nämä määräykset ja ohjeet tulivat

voimaan rakentamistoimenpiteisiin, joille oli haettu lupa 1. päivänä heinäkuuta 1976 ja sen jälkeen. Tämä määräyskokoelman osa sisältää määritelmiä ja määräyksiä ilmanvaihdon ja sisäilman suhteen kuuden sivun verran, ja ne on kirjoitettu melko yleisellä tasolla. Määräyskokoelman osa alkaa ilmanvaihtoon liittyvillä määritelmillä, minkä jälkeen esitellään yleisiä määräyksiä ja lopuksi erityisiä määräyksiä. Seuraavassa esitellään tiivistelmä osan keskeisestä sisällöstä. (1, s. 2.)

2.1.1 Yleiset määräykset

Yleisessä määräysosassa todettiin, että jokaisessa rakennuksessa on turvattava tilakohtaisen käyttötarkoituksen mukainen riittävä ilmanvaihto ja tyydyttävä sisäilman laatu. Ilmanvaihto oli toteutettava niin, että siitä ei ole haittaa tai terveydellistä vaaraa ihmisille ja että se ei aiheuttanut kosteusvahinkoja rakennukselle. (1, s. 6.)

Määräyskokoelman osa ei ottanut kantaa siihen, miten ilmanvaihto tulisi toteuttaa rakennuksessa. Käytännössä vaihtoehtona oli joko painovoimainen tai koneellinen ilmanvaihto.

Painovoimainen ilmanvaihto oli sallittu asuin-, työ- tai kokoontumistiloissa olettaen, että tuuletus oli mahdollista. Toisaalta näiden kahden yhdistelmä oli kuitenkin yleensä kielletty. (1, s. 6.)

Mikäli ilmanvaihto toteutettiin koneellisesti, annettiin tätä varten omat määräykset. Koneellinen ilmanvaihto oli määräyskokoelman osan mukaan suunniteltava ja rakennettava niin, että se toimi tyydyttävästi tavanomaisissa sääolosuhteissa. Tämän lisäksi koneelliset tulo- ja poistoilmavirrat oli mitattava luotettavalla tavalla, ne oli tarvittaessa myös esitettävä, ja niiden oli oltava vähintään viranomaisten hyväksymiä. Määräyskokoelman osa ei ota kantaa siihen, miten nämä ilmavirrat tulisi mitata. (1, s. 6.)

Tulo- ja poistoilmavirroista todettiin lisäksi, että niiden vähimmäismäärinä oli käytettävä sisäasianministeriön ja muiden viranomaisten määräyksissä ja ohjeissa hyväksymiä arvoja. Näiden puuttuessa oli käytettävä muita riittäväksi osoitettavia arvoja. Näistä arvoista tai ohjeista ei löytynyt mitään tietoa. (1, s. 6.)

Yleisissä määräyksissä oli sen sijaan tietoa ulkoilmasta ja ulkoilma-aukoista. Näistä määrättiin, että ilman sisäänotto ulkoilma-aukkojen kautta oli järjestettävä niin, että si-

sään tuleva ilma oli olosuhteisiin nähden puhdasta. Ulkoilma oli tarvittaessa puhdistettava. (1, s. 7.)

Tämän lisäksi annettiin täydentäviä määräyksiä ulkoilma-aukkojen sijoitukselle. Ne oli sijoitettava niin, että ne olivat riittävän korkealla maanpinnasta, katu- tai pihatasosta ja että ne olivat riittävän etäällä poistoilma-aukoista, viemäreiden tuuletusputkista tai muista ulkoilman laatua heikentävistä kohteista. Ulkoilma-aukkoja ei myöskään saanut sijoittaa lähelle jätteiden säilytyspaikkoja tai muualle, missä pilaantunutta ilmaa voi päästä ulkoilma-aukkoon. (1, s. 7.)

Ulkoilma-aukosta tuleva tuloilma tuli jakaa huoneisiin tasaisesti ja ilman haitallista vetoa. Säädettyä ikkunaa, ikkunarakoa tai tuloilmanventtiiliä sai myös käyttää tuloilmalaitteena. Mikäli näin meneteltiin, oli haitallisen vedon estämiseksi kiinnitettävä erityistä huomiota. (1, s. 7.)

Ilman poisto huonetiloista oli tehtävä niin, että pilaantunut tai terveydelle haitallinen ilma poistettiin huoneista mahdollisimman tehokkaasti riittävän tiiviissä hormeissa. Tämän lisäksi määrättiin, että poistoilma ei saa sekoittua tuloilman kanssa. Tämä varmistettiin sijoittamalla poistoilma-aukot riittävän kauas ulkoilma-aukoista, savuhormeista tai viemäreiden tuuletusputkista. (1, s. 8.)

Ilmanvaihtolaitteistoa rakennettaessa oli huolehdittava, että ilmahormit olivat tiiviitä. Tiiveys on suhteellinen käsite, eivätkä määräykset ottaneet kantaa, kuinka tiiviitä ilmankanavien tulisi olla. Sen sijaan todettiin, että ilmahormien tiiveys oli mitattava tai todettava muuten tarkoituksenmukaisella tavalla. Selvitys tästä oli tarvittaessa esitettävä. Lopuksi otettiin kantaa ilmanvaihtolaitoksen kestävyteen. Tämä oli suunniteltava, rakennettava ja myös huollettava siten, että se toimintakuntoisena kestää rakennuksen käyttöön nähden kohtuullisen ajan, sekä täyttää määräykset jatkuvasti. (1, s. 8.)

Ilmanvaihtolaitteiston osien tuli olla tarkoituksenmukaiset ja tarvittaessa puhdistettavissa. Tämän lisäksi niille tuli varata tarpeeksi tilaa ja ne tuli varustaa riittävillä käyttö- ja huolto-ohjeilla. (1, s. 8.)

2.1.2 Erityisiä määräyksiä

Määräyskokoelman loppuksi annettiin määräyksiä siirtoilman sekä kierto- ja kierrätysilman käytöstä. Näitä käytettäessä oli turvattava tyydyttävä huoneilman laatu ja riittävä tuloilman puhtaus. Kiertoilman käyttö oli voitava täysin sulkea. (1, s. 9.)

2.1.3 Kommentteja

Kantavana ajatuksena alkuperäisessä D2:ssa tuntuu olevan, että jonkinlainen ilmanvaihdon oli rakennuksissa oltava ja sen oli toimittava jotenkin. Vaikka tämä määräyskoelman osa antoi joukon tarkoituksenmukaisia ja järkeviä määräyksiä, jäivät ne kovin yleiselle tasolle.

Määräyskokoelman tekstissä oli paljon epämääräisyyttä. Tämä ilmenee siitä, etteivät määräykset olleet tarkkoja ja jättivät tästä syystä paljon tulkinnanvaraa. Tekstissä käytettiin huomattava määrä adjektiivejä, joille ei annettu selityksiä. Määräystekstissä todettiin mm. että ilmanvaihto rakennuksessa on oltava riittävä ja sisäilman laatu tyydyttävä. Tämän lisäksi viitattiin määräyksiin eri viranomaisilta, joita ei todennäköisesti koskaan ole annettu.

Kriittisiä kommentteja annettaessa on kuitenkin muistettava, että tämä D2 oli ensimmäinen lajissaan ja huokui ajan henkeä. Alkuperäinen D2 kumottiin ja korvattiin uudella versiolla jo kahden vuoden kuluttua.

3 D2 1978

Sisäasiainministeriö julkaisi 27. päivänä lokakuuta 1978 toisen painoksen määräyskoelman osasta D2. Nämä määräykset tulivat voimaan 1. päivänä heinäkuuta 1979, ja sillä kumottiin aiemmin annetut määräykset. (2, s. 1.)

3.1 Virkavallan poikkeusmenettely

Aiemmasta poiketen määräyskokoelman D2-osan toinen painos sisälsi määritelmiä, määräyksiä ja ohjeita yhteensä 13 sivua. Määräyskokoelman osan D2 alussa todettiin, että määräykset olivat sitovia. Toisaalta todettiin myös, että rakennuslain 132§:n mu-

kaan viranomaisilla oli lainkohdasta ilmenevin edellytyksin valta myöntää poikkeus rakentamista koskevista säännöksistä, määräyksistä, kielloista tai muista rajoituksista. (2, s. 2.)

3.2 Yleissitovuus

Määräyskokoelman osassa annetut ohjeet eivät olleet sitovia, mutta rakennuslupaviranomaisen oli hyväksyttävä ohjeiden mukainen rakentaminen. Näin ollen tulkintaongelmien välttämiseksi oli ehkä parempi rakentaa ohjeiden mukaisesti. (2, s. 2.)

3.3 Keskeiset muutokset

Määräyskokoelman D2-osan toisessa painoksessa oli, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta, samat määräykset kuin alkuperäisessä versiossa vuodelta 1976. Merkittävänä uudistuksena vuoden 1978 versiossa voidaan pitää ohjeiden ja normien antamista, jotka selkiyttivät määräyksiä ja vähensivät tulkintaongelmia.

Rakennuksiin oli johdettava likaisen ilman tilalle puhdasta ulkoilmaa, ilman haittoja ihmisille tai rakennuksille. Tämä tuli tapahtua käyttäen ilmanvaihtolaitteistoa, jolle oli annettu selkeitä vaatimuksia mm. ilmavirtojen ja teknisten ominaisuuksien osalta. (2, s. 2.)

3.4 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaisen ilmanvaihdon asentaminen oli edelleen sallittu asuinhuoneistoihin joko pääasiallisena ilmanvaihtona tai yhdistettynä koneellisen ilmanvaihtolaitteiston kanssa. Painovoimaisen ilmanvaihdon keskeinen ongelma on liian suuri ja vaihteleva ilmanvaihto, jos rakennusvaippa on liian harva, ja liian pieni ilmanvaihto, jos rakennusvaippa on tiivis (3, s. 42). Tämän lisäksi lämpötilavaihtelut vaikuttavat painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuuteen. Kylmällä säällä ilmanvaihto saattaa toimia liian tehokkaasti, kun taas lämpimällä säällä ilmanvaihto on tehoton.

Ongelman vähentämiseksi oli annettu ohjeita painovoimaisen ilmanvaihdon mitoittamiseen ja toteutukseen. Painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilmahormien ja -elinten mitoitus tulisi suorittaa niin, että ilmanvaihto olisi vaatimusten mukainen vuoden keski-

lämpöolosuhteissa ilmanvaihtohormien ja -elinten ollessa täysin avoinna. Lämpimällä säällä ilmanvaihdon pienenemistä voitiin kompensoida tuuletuksella. Kylmemmällä säällä tuli vastaavasti liian suurta ilmanvaihtoa ja samalla energiahukkaa vähentää poistoilmaelimiä säätämällä. (2, s. 10.)

3.5 Ilmanvaihtoa koskevat vaatimukset

Rakennuksessa oli oltava D2:n mukaan käyttötarkoitukseen nähden riittävä ilmanvaihto, jolla voitiin aikaansaada tyydyttävä sisäilman laatu. Tulkintaongelmien välttämiseksi sisäasianministeriö olikin selventänyt määräystään tarkennuksilla.

Huoneilman laatua voitiin pitää tyydyttävänä, jos

- hiilidioksidin pitoisuus ilmasta oli alle 2 500 ppm (cm^3/m^3)
- ilmassa oli epäpuhtauksia vähemmän kuin lääkintöhallituksen ohjeissa oli mainittu
- muita epäpuhtauksia oli enintään 1/8 työpaikkojen ilmalle sallituista epäpuhtauksien enimmäispitoisuuksista tai
- ilma ei sisältänyt haitallisessa määrin kosteutta, pölyä, hajuja tai taudinaiheuttajia. (2, s. 2.)

3.6 Ilmavirrat

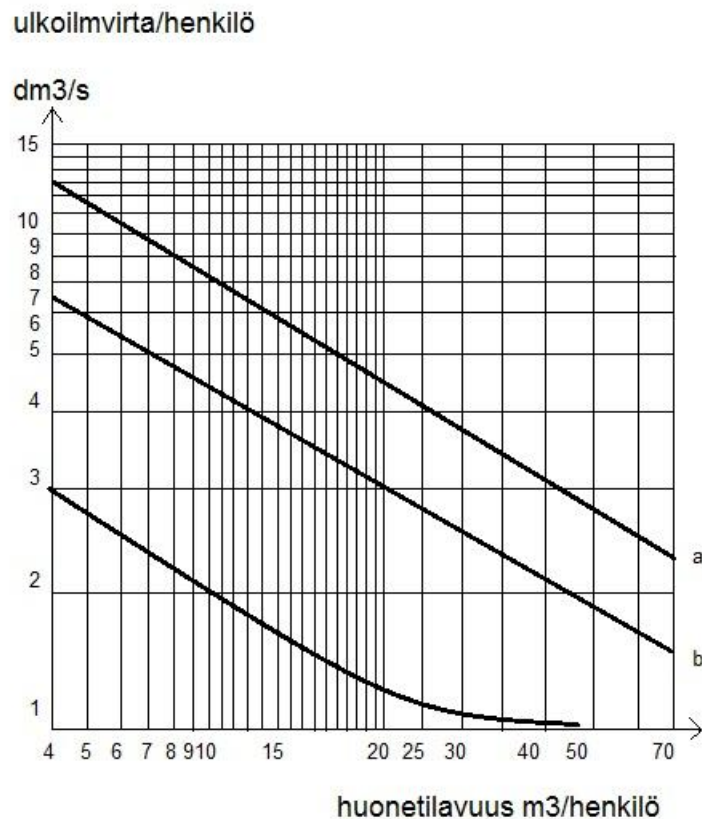
Ilmavirroista todettiin, että niiden oli oltava riittäviä ilmanvaihdon turvaamiseksi ja tuuloilmassa oli oltava tarpeellinen osuus ulkoilmaa. Määräykseen liitettyssä ohjeessa annettiin lisätietoja, kuinka paljon ulkoilmaa tuli huonetiloihin johtaa. Mikäli huoneilman huononeminen aiheutui pääasiallisesti ihmisistä tai rakenteista lähtevistä epäpuhtauksista, johdettiin huonetiloihin vähintään

$$0,35 \frac{\text{dm}^3}{\text{sm}^2} \left(1,3 \frac{\text{m}^3}{\text{hm}^2} \right) \text{ ulkoilmaa,}$$

mikä vastaa puolikertaista (0,5) ilmanvaihtoa. (2, s. 3.)

Laskelmassa voitiin ottaa huomioon rakenteiden epätiiveydestä johtuva vuotoilma. Määräyskokoelman tekstissä arvioitiin vuotoilman olevan läpitalon huoneistoissa ja tiloissa 0,2-kertainen ja muissa tiloissa 0,1-kertainen.

Vaihtoehtoisesti ohjeissa annettiin mahdollisuus mitoittaa tulo- ja poistoilmavirrat henkilökumäärän mukaan. Oheisen kuvion 1 mukaan voitiin mitoittaa huoneiden ulkoilmavirrat.



Kuvio 1. Ilmavirtojen mitoitus henkilöiden mukaan. (2, s. 3)

Ajan henkeä kuvastivat erilaiset mitoitukset sen mukaan, tupakoitiinko tilassa vai ei.

Käyrä a: huonetila, jossa tupakoitiin.

Käyrä b: huonetila, jossa ei tupakoitu.

Käyrä c: lisäys niissä tiloissa, joissa ei ollut helposti avattavaa ikkunaa tai muuta tuuletusvaihtoehtoa.

D2:n mukaan tulo- ja poistoilmavirrat voitiin myös mitoittaa erillisen taulukon mukaisesti, johon oli koottu poistoilmamääriä eri huoneista (2, s. 4). Oheisena ilmamääriä asuinrakennuksesta dm^3/s :

Taulukko 1. Mitoitusilmavirrat (dm^3/s) asuinhuoneistossa

Asuintilat		Asuinrakennuksen muut tilat	
Keittiö	22	Porrashuone, käytävä	16
Keittokomero		Pesutupa	22
Keittokaappi		Kuivaushuone	22
Apukeittiö	12	Sauna	2
Huoltohuone		Perhesaunan pesuhuone	16
Kylpyhuone	16	Askarteluhuone	1,5
WC	8	Jätehuone	5
Vaatehuone	3	Siivouskomero	8

Toisaalta todettiin myös, että sellaisessa tilassa, jota ei käytetä jatkuvasti, voidaan ilmanvaihtolaitos rakentaa sellaiseksi, että ilmavirtoja voidaan vaihdella tilojen käytön mukaan. Näitä olivat esim. erilaiset työtilat, opetustilat tai kokoontumistilat. (2, s. 3.)

3.7 Ilmanvaihtolaitoksia ja ilmanvaihtolaitteita koskevat vaatimukset

Vaikka painovoimainen ilmanvaihto olikin sallittu, otti määräyskokoelman tämä osa lähinnä kantaa koneellisen ilmanvaihdon vaatimuksiin ja ominaisuuksiin. Määräyskokoelman osassa käsiteltiin laitteiston teknisiä ominaisuuksia, kuten suorituskykyä ja kestävyyttä.

3.8 Suunnittelu ja asennus

Koneellinen ilmanvaihtolaitos oli määräyskokoelman osan mukaan suunniteltava ja rakennettava siten, että se toimi hyvin tavanomaisissa sääolosuhteissa ja muulloinkin tyydyttävästi. Jotta tämä onnistuisi, oli suunnittelun lähtökohdaksi hankittava riittävästi tietoa vallitsevista sääolosuhteista. (2, s. 6.)

Sääolosuhteiden vaikutukset oli otettava huomioon suunnitteleamalla ja asentamalla laitteisto niin, että se toimi ääriolosuhteissakin tyydyttävästi (2, s. 6). Sääolosuhteita ei analysoitu tarkemmin, mutta niillä voitiin tarkoittaa lämpötilaeroja esim. kesän ja talven suhteen. Epäselväksi jäivät tekstissä myös määritelmät ”riittävä” ja ”tydyttävä”.

3.9 Ilmanvaihtolaitosten ohjaus ja säätö

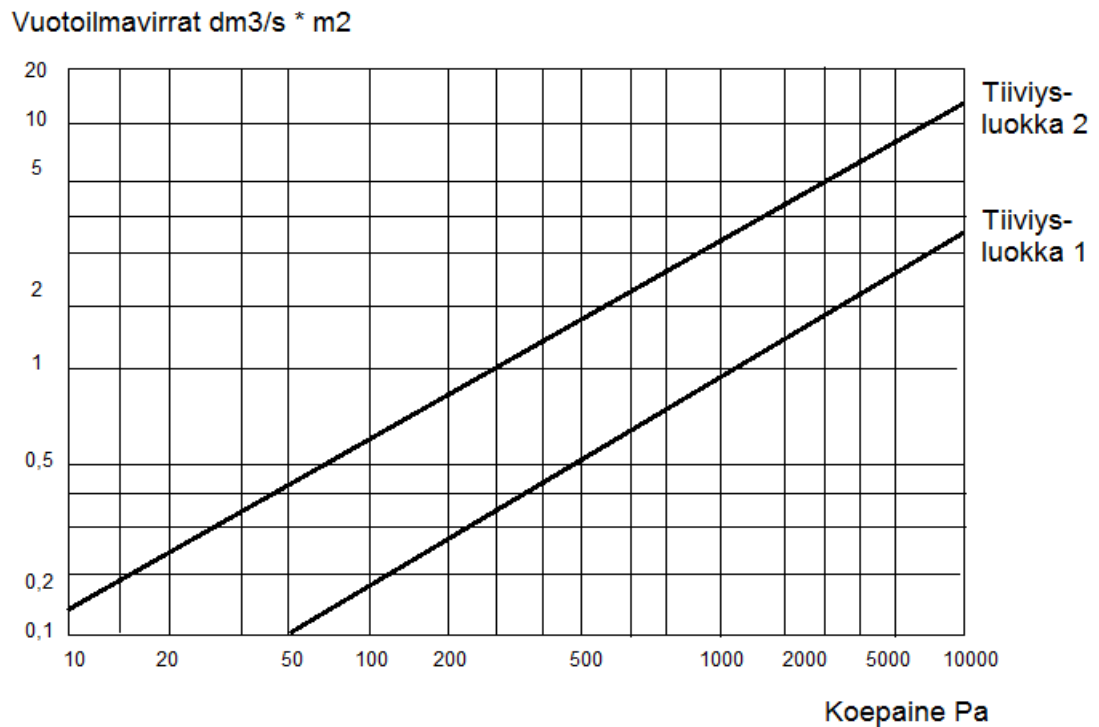
Vuoden 1973 energiahintakriisin johdosta kiinnostuttiin erityisesti ilmanvaihdon energiakulutuksesta. Sen vuoksi ohjeistettiin ilmanvaihdon rajoittamista erityisesti silloin, kun ilmanvaihdon tarve oli vähäistä eli silloin, kun tilassa ei oleskeltu. Erityisesti kerrostaloissa otettiin yleisesti käyttöön kellokytkimet, joilla voitiin säätää ilmanvaihto pienemmälle teholle silloin, kun oletettiin, että tarve oli vähäisempää, ja vastaavasti tehostaa sitä aamuisin ja päivällisaikaan, jolloin oletettiin ilmanvaihtotarpeen olevan suurempaa. (2, s. 6.)

Energian säästämiseksi tuli myös luvalliseksi pienentää ulkoilmavirtoja kylmänä vuodenaikana. Koska haluttiin varmistaa tyydyttävä sisäilman laatu, ei esim. koneellista ilmanvaihtoa saanut kokonaan pysäyttää. Sen sijaan todettiin, että ilmanvaihtolaitoksen ilmavirrat voitiin puolittaa erittäin kylmällä säällä, mikäli siitä ei aiheutunut ilmeistä terveydellistä tai muuta haittaa. Tarkoituksenmukaisena pidettiin esim. ulkoilmavirtojen puolittamista, mikäli ulkoilman lämpötila laski 15 °C alle paikkakunnan mitoitusulkolämpötilan. (2, s. 12.)

3.10 Ilmanvaihtohormien tiiveys

Parannuksena määräyskokoelman D2-osan edelliseen painokseen voidaan pitää ilmanvaihtohormien uutta tiiveysvaatimusta. Ilmanvaihtohormien tiiveysvaatimus ei muuttunut aiemmasta D2:sta, mutta lisävaatimukseksi tuli mitata ilmanvaihtohormien tiiveys painekokeen avulla. D2:n mukaan hormien tiiveys tuli tutkia, mikäli niissä kuljetettiin myrkyllisiä tai syövyttäviä kaasuja, niitä ei voitu rakenteita rikkomatta myöhemmin korjata, tai niiden todettiin rikkoutuneen. Tiiveysluokkia oli kaksi: tiiveysluokka 1 ja 2. Tiiveysluokkaan 1 kuuluivat esim. ilmanvaihtohormit, joissa kuljetettiin esimerkiksi myrkyllisiä kaasuja tai terveydelle vaarallista ilmaa. Tiiveysluokkaan 2 kuuluivat tavalliset ilmanvaihtohormit. (2, s. 8.)

Riittävän tiiviissä ilmanvaihtolaitteistossa vuotoilman määrä ei saanut ylittää kuvion 2 esittämiä arvoja.



Kuvio 2. Suurin sallittu vuotoilmamäärä koepaineen ja tiiveysluokan funktiona.

3.11 Käyttöönotto ja kunnossapito

Määräysten tiukkenemista tapahtui myös ilmanvaihtolaitteiston käyttöönoton ja huollon suhteen. Aikaisemmin riitti, että ilmanvaihtolaitteisto toimi niin, että määräykset täyttyivät jatkuvasti eikä ilmanvaihtolaitteiston käyttöönottoon liitetty mitään vaatimuksia.

Ilmanvaihtolaitosten oikeaan asennukseen ja toimivuuteen annettiin useita määräyksiä ja ohjeita. Ennen rakennuksen käyttöönottoa oli koneelliset tulo- ja poistoilmavirrat perussäädettävä suunnitelmien mukaisiksi ja mitattava. D2 ei ota tarkemmin kantaa siihen, miten perussäätö tuli tehdä, mutta toteaa, että se piti tehdä tarkoituksenmukaisesti yleisesti hyväksytyillä laitteilla ja mittausmenetelmillä. Laitteisto perussäädettiin valmiina eli kaikilla horneilla, suodattimilla, ja säätöpelleillä varustettuna. Perussäädön ja mittausten tarkkuuden tuli vastata ilmanvaihtolaitoksen vaatimustasoa. Pientä toleranssia kuitenkin sallittiin. Huonekohtaiset ilmavirrat saivat poiketa 30 prosenttia ja kokonaisilmavirrat 10 prosenttia suunnitelluista arvoista. (2, s. 9.)

Ilmanvaihtolaitos oli suunniteltava ja rakennettava siten, että se kesti toimintakykyisenä rakennuksen käyttöön nähden kohtuulliseksi katsottavan ajan. Tämä tarkoitti yhtä peruskorjausjaksoa. Kuluvien osalta hyväksyttiin lyhyempi kestoikä.

Ilmanvaihtolaitoksen käyttöikään vaikutti myös sen huolto. Tämän takia D2:ssa kiinnitettiin huomiota siihen, että ilmanvaihtolaitoksen kaikki osat piti voida huoltaa tai puhdistaa. Tämä edellytti, että ilmanvaihtokanavistoon asennettiin riittävä määrä puhdistusluukkuja. Pääsy huollettaville laitteille tuli olla mahdollista ja tilaa tuli myös olla riittävästi huollettavan laitteen edessä. Rakennuksen käyttäjällä tuli myös olla käytettävissä valmiit ilmanvaihtopiirustukset sekä käyttö- ja huolto-ohjeet. (2, s. 10.)

3.12 Kommentteja

Vuonna 1978 julkaistu D2 sisälsi määräysten lisäksi ohjeita helpottamaan määräysten toimeenpanoa. Tämä oli selvä parannus edelliseen D2:een, joka keskittyi lähinnä antamaan määräyksiä yleisellä tasolla.

Ilmavirtojen mitoitukselle annettiin käytännössä kolme vaihtoehtoa. Ilmavirrat voitiin joko laskea kaavalla huoneen koon ja tilavuuden mukaan, tulkita määräyskokoelmaan lisätystä kuvasta tai katsoa suoraan annetusta ilmavirtataulukosta. Ilmanvaihtolaitokselle annettiin myös laadullisia määräyksiä. Ilmanvaihtolaitos piti asentaa niin, että suunnitellut arvot toleranssin puitteissa täytyivät ja sen piti kestää rakennuksen peruseräparausjakson ajan. Merkittävänä asiana vuonna 1978 käyttöön otetussa D2:ssa oli myös ilmanvaihtokanaviston tiiveysvaatimus, joka osaltaan johti parempien ilmanvaihtokanavien rakentamiseen sekä paremmin toimivaan ilmanvaihtokokonaisuuteen.

Painovoimainen ilmanvaihto oli määräyskokoelmassa edelleen sallittu, joko yksin tai yhdistettynä koneellisen ilmanvaihtoon. Toisaalta, jotta vaatimukset ilmanvaihtolaitoksen ilmavirroista täytyivät jatkuvasti, piti käytännössä painovoimaisesta ilmanvaihdosta luopua ja asentaa uusiin asuintaloihin koneellinen ilmanvaihto. Koneellisten ilmanvaihtolaitosten yleistyminen 1970- ja 1980-luvulla paransi erityisesti asuintalojen ilmanvaihtoa, mutta se ei ollut ongelmattonta.

Mikäli asuntoon oli asennettu pelkkä poistoilmahuuhallin, mikä usein oli tapana, oli vaarana, että asuntoon virtasi epätasaisesti tuloilmaa. Ongelmia aiheutui korvausilman tulon estymisestä. Tämä tapahtui, koska korvausilmaventtiilit saattoivat tukkeutua liasta tai ne suljettiin kokonaan niistä virtaavan kylmän ilman aiheuttaman vedon takia. On-

gelmia aiheutti myös melu. Mikäli koneellinen ilmanvaihto piti paljon ääntä, se suljettiin usein kokonaan. Jos rakennus oli tiivis, loppui ilmanvaihto näin kokonaan.

4 D2 1987

Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 1987 päivitetyn version rakentamismääräyskoelman osasta D2. Määräykset ja ohjeet tulivat voimaan uusille rakentamistoimenpiteille 1. päivänä tammikuuta 1988. Uudistettu D2 sisälsi määräyksiä ja ohjeita n. 14 sivua.

Rakennusten ilmanvaihtoa ja sisäilmastoa koskevat määräykset ja vaatimukset edelleen tarkentuivat tässä vuoden 1987 versiossa ja uusia käsitteitä esiteltiin. Liitteeseen oli tämän lisäksi koottu huoneistokohtaisia lämpötila-, ilmavirta-, sekä ääniarvoja.

Koneellinen ilmanvaihto yleistyi myös pientaloissa 1980-luvulla, mutta sitä ei usein osattu asentaa oikein. Korvausilma otettiin usein ikkunaraoista, mikä aiheutti veto-ongelmia. Ilmanvaihto-ongelmia lisäsi myös energian hinta, tai lisääntynyt tietoisuus siitä. Kun sähkön hinta nousi, saatettiin ilmanvaihtokone jopa kokonaan kytkeä pois päältä. Kun rakenteiden ilmanpitävyys samalla parani, huononi vastaavasti sisäilman laatu. (4, s. 32.)

4.1 Rakennuksen sisäilmasto

Huonetilojen oleskeluvyöhykkeellä oli kaikissa tavallisissa sääoloissa ja tilan käyttötavan mukaisissa tilanteissa saada aikaan tyydyttävä sisäilmasto. Oleskeluvyöhykkeellä ei myös saanut olla haitallisesti vetoa, melua tai lämpösäteilyä. Oleskeluvyöhyke oli D2:n mukaan se huonetila, jonka alapinta rajoittui lattiaan, yläpinta 1,8 metrin korkeuteen lattiasta ja sivujen pinnat 0,6 metriin seinistä tai vastaavanlaisista rakenteista. (5, s. 2.)

Tyydyttävällä sisäilmastolla tarkoitettiin sitä, että sisäilman lämpötilan, puhtauden, ja kosteuden tulee olla hallittuja. Nämä sisäilmastoa koskevat tärkeimmät ohjeavot oli koottu keskitetysti yhteen liitteeseen. D2:n mukaan sisäilmasto oli monen tekijän summa. Kokonaisuuteen vaikuttivat liitteen arvojen lisäksi myös,

- rakennuksen sijainti
- rakennuksen ominaisuudet kuten lämpöeristys, tiiveys ja ikkunat
- rakennuksen lämmitysjärjestelmä
- sisäiset kuormitustekijät kuten lämpökuormitus, henkilökuormat, rakennus- ja sisustusmateriaalit, sekä
- ulkoiset kuormittavat tekijät, esimerkiksi sääolot, ulkoilma tai muut ympäristötekijät.

Ohjeiden kantavana ajatuksena oli, että tyydyttävän sisäilmaston aikaansaamiseksi pyrittiin käyttämään ensisijaisesti rakenteellisia keinoja, toissijaisesti rajoittamaan sisäisiä ja ulkoisia kuormitustekijöitä ja viimekädessä käyttämään ilmastointitekniisiä keinoja. (5, s. 2.)

4.2 Lämpöolot

Täysin uutena asiana vuoden 1987 D2 määräsi, että huonetilan oleskeluvyöhykkeen lämpötilan tuli olla hallittu niin, ettei viihtyisyys tai suorituskyky huomattavasti alenisi eikä energiaa kuluisi tarpeettomasti. Huoneiden ja tilojen lämpötiloista annettiin ohjearvoja, jotka pätevät lämmityskaudella. Perustelluista syistä voitiin lämpötilat suunnitella ohjearvoja korkeammaksi. Toisaalta annettiin myös mahdollisuus lämpötilojen alittamiseen, jos ulkoilman lämpötila alitti paikkakunnan mitoituslämpötilan. (5, s. 2.)

4.2.1 Operatiivinen lämpötila

Jos huoneessa tai tilassa esiintyi poikkeavia lämpötilatekijöitä, kuten voimakasta lämpösäteilyä tai alhaisia tai korkeita pintalämpötiloja, oli myös nämä otettava huomioon.

D2 määritteli operatiivisen lämpötilan eli sisäilman lämpötilasta poikkeavien pintalämpötilojen vaikutuksen ihmisen lämmöntunteeseen. Operatiivinen lämpötila edustaa siis ihmisen tuntemaa kokonaislämpötilaa, jossa tekijöinä ovat sisäilman lämpötilan lisäksi pintojen lämpötilat. D2 ohjeisti, että mikäli operatiivinen lämpötila ei ole jossain huoneissa hyväksyttävä, tulee ongelma poistaa joko rakenteellisin keinoin tai paikallisella lämmittämisellä ja ilmavirtauksilla. Näitä keinoja saattoivat olla esim. ikkunoiden uudelleen sijoittaminen tai aurinkosuojaus. Rakennuksen ollessa käytössä ei oleskeluvyöhykkeen lämpötila yleensä saanut ylittää 27 °C. Kesäisin, kun ulkolämpötila nousi yli

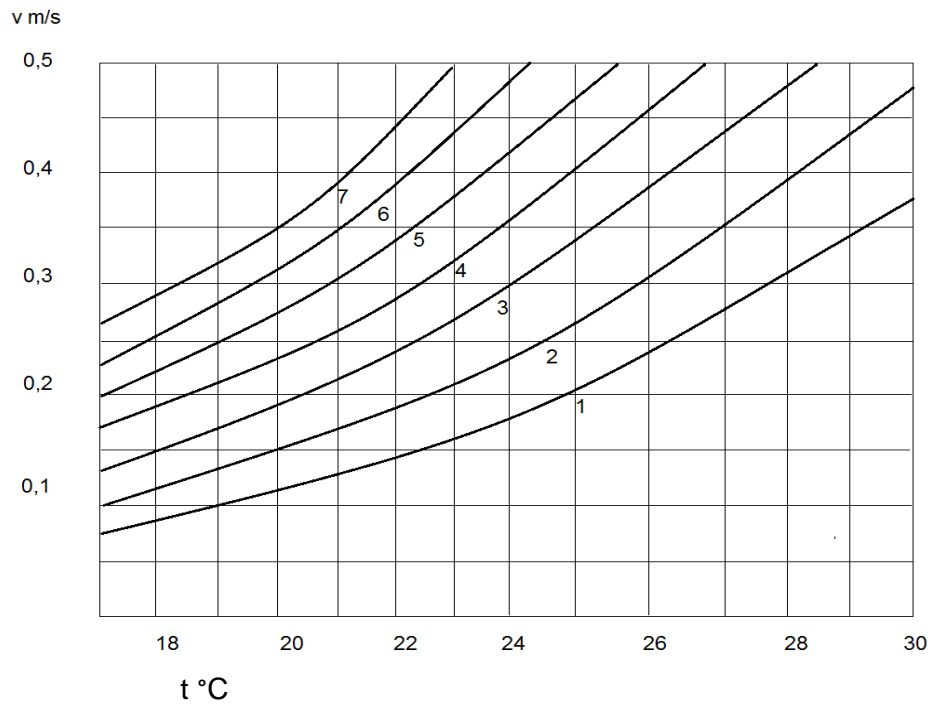
22 °C:n, sai sisäilman lämpötila kuitenkin maksimissaan nousta 5 °C yli ulkolämpötilan. (5, s. 3.)

4.2.2 Veto

Vuoden 1987 määräyskokoelman osa D2 otti myös kantaa vetoon, jota esiintyy melko yleisesti rakennusten sisäilmassa ja joka on myös usein syynä sisäilmastoa koskeviin valituksiin. Mistä veto sitten johtuu? Sisäilmassa vetoa syntyy, kun ilma virtaa liian suurella nopeudella, tai ilman lämpötila on liian alhainen. Usein syynä voi olla pintojen alhainen lämpötila suhteessa huoneilmaan, esimerkiksi talvella ilman kylmettämät ikkunat, joiden kylmä pinta aiheuttaa säteilyvetoa ikkunan vieressä seisovalle. Vetovaikutusta täydentää vielä ikkunan pinnalla alas virtaava kylmä ilma. Vetoa voi myös aiheuttaa koneellinen ilmanvaihto, jos korvausilma otetaan suoraan ulkoa korvausilmaventtiilin kautta. Kylmä ilma valuu talvella suoraan sisäseinää pitkin lattialle ja aiheuttaa vedon tunnetta. Vedon tunne aiheutuu ihon paikallisesta liian voimakkaasta jäähtymisestä. (6, s 1.)

Jotta ei tunnettaisi vetoa, tulisi ilman lämpötila pitää mahdollisimman tasaisesti hyvällä tasolla. Talotekniikkateollisuus ry:n mukaan hyvään tulokseen päästään, jos rakennuksessa käytetään koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa lämmön talteenotolla. Näin toimittaessa poistoilman lämpö saadaan siirrettyä suureksi osaksi tuloilmaan ja lämpötilavaihtelut pienenevät. D2 määrää, että huonetilan oleskeluvyöhykkeellä ei saa esiintyä häiritsevää vetoa eikä muita viihtyvyyttä tai suorituskykyä huomattavasti alentavia lämpötilatekijöitä. (5, s. 3.)

Määräyksen tulkitsemisen helpottamiseksi on esitetty oheinen kuvio ilmannopeuden ja lämpötilan funktiona. Vetokäyriä on seitsemän ja niiden käytöstä eri tiloihin on annettu ohjeet määräyskokoelman D2-osan liitteessä. Asuintalojen eniten käytetty vetokäyrä on numero 2.



Kuvio 3. Vetokäyrästä ilman enimmäisnopeuden määrittämiseksi (5, s. 3)

v = ilman enimmäisnopeus

t = ilman lämpötila nopeuden mittauspisteessä

4.3 Sisäilman puhtaus

Ihmisen toiminnan tuloksena ilmassa esiintyy epäpuhtauksia. Erityisesti liikenteestä ja energiantuotannosta, mutta myös muista lähteistä olevien epäpuhtauksien määrää sisäilmassa on haluttu rajoittaa.

4.3.1 Formaldehydi

Suomessa sisäilman laatuun kytkeytyviä ongelmia alkoi esiintyä enemmän 1970-luvulla, ja formaldehydi erityisenä sisäilman pilaajana on ollut tunnettu jo 1960–70-luvuilta.

Formaldehydi on erittäin myrkyllinen yhdiste, joka voi aiheuttaa vetisiä silmiä, polttavaa tunnetta kurkussa ja silmissä, pahoinvointia sekä hengitysvaikeuksia aikuisissa, jotka altistuvat suurille määrille formaldehydiä. Monet terveysalan organisaatiot ovat määrittäneet formaldehydin syövän aiheuttajaksi. (7)

Ongelmana on, että formaldehydi on ollut, ja on edelleen, hyvin monipuolisesti teollisuuden käyttämä liimakomponentti. Formaldehydiä käytetään edelleen maaleissa, pinnoitteissa, lakoissa, siivoustuotteissa, huonekaluissa, ym. vaikkakin sen käytölle on asetettu nykyään raja-arvoja. Ehkä parhaiten formaldehydi on kuitenkin tunnettu vanhojen lastulevyjen liima-aineena. Lastulevyn pinnalta formaldehydi haihtui sisäilmaan ja paljasti, että lastulevyä oli käytetty rakennusaineena, vaikka se olisi pintakäsitelty tapetilla tai maalattu useaan kertaan.

Oma kohtainen kokemukseni 1970-luvulta on aivan erityinen, makeahko, epämiellyttävä haju, jonka tunsin usein sisään asuntoomme tultaessa. Mikäli talo oli ollut tyhjä muutama päivä, esim. matkan takia, oli asunto aina ensin tuuletettava kunnolla, ennen kuin siellä oli viihtyisää olla. Kukaan ei kuitenkaan siihen aikaan epäillyt formaldehydin olevan jotenkin vaarallista.

Formaldehydin vaarallisuuden takia on viranomaisen, tässä tapauksessa Lääkintöhallitus, jonka ohje on myös sisällytetty vuoden 1987 D2-versioon, määrännyt, että formaldehydipitoisuuden tulee alittaa $0,15 \text{ mg/m}^3$ uusien rakennuksien osalta ja $0,30 \text{ mg/m}^3$ vanhojen rakennuksien osalta. (5, s. 3.)

Toisin kuin ehkä voisi arvata, formaldehydin käyttö on siis edelleen sallittua ja sitä myös käytetään edelleen laajasti. Valviran 8.12.2008 asumisterveyttä koskevassa määräyksessä todettiin, että sisäilman formaldehydipitoisuuden vuosikeskiarvo ei saa ylittää $0,5 \text{ mg/m}^3$ ja että lyhyen mittauksen keskiarvopitoisuus ei saa ylittää 1 mg/m^3 (30 min). Sisäilman formaldehydipitoisuuden tutkiminen on perusteltua, jos hajukynnys $0,35 \text{ mg/m}^3$ ylittyy (8, s. 62). Voi siis todeta, että olemme nykyään sallivampia sisäilman formaldehydipitoisuuden suhteen kuin 1980-luvulla.

4.3.2 Radon

Radon on näkymätön, väritön ja hajuton jalokaasu, joka syntyy uraanin hajoamisketjussa. Yleisesti on tiedossa, että radonkaasua on Suomen maaperässä runsaasti ja että se aiheuttaa keuhkosyöpää. Radonkaasun vaarallisuus ja yhteys keuhkosyöpään löydettiin 1970-luvulla.

1980-luvulla tehtiin maassamme ensimmäiset radonkartoitukset. Säteilyturvakeskus arvioi noin 300 henkilön saavan vuodessa keuhkosyövän radonkaasun takia (9). Ym-

päristöministeriö sisällyttikin vuoden 1987 rakentamismääräyskokoelman osaan D2 lääkintöhallituksen ohjekirjeen nro 2/1986, jossa rajoitettiin sisäilman radonpitoisuuksia. Uudet rakennukset piti suunnitella niin, että radonia ei ollut yli 200 Bq/m³ sisäilmaa. Vanhojen rakennusten enimmäispitoisuus radonia oli 800 Bq/m³. Radonin vaarallisuus tiedettiin, ja sen altistumisesta annettiin määräyksiä, mutta käytännön ohjeita, miten tulisi rakentaa määräykset täyttävä rakennus, ei annettu.

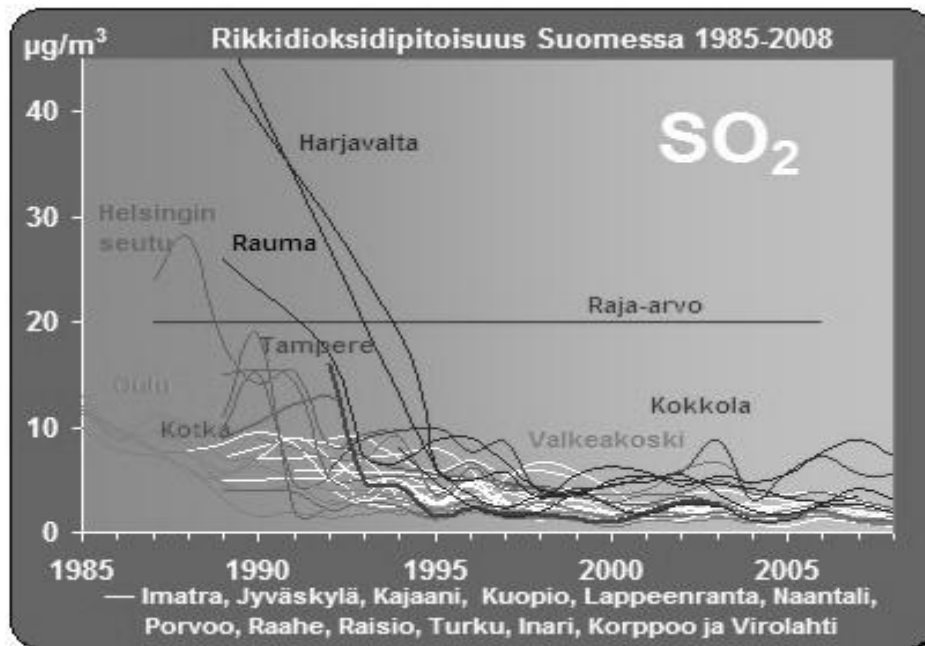
4.3.3 Valtioneuvoston päätös no 537/84

Terveydelle haitallisia saasteita on monenlaisia. Seuraavissa luvuissa käsiteltävät aineet, jotka kulkeutuvat ilmassa, ovat ihmisen toiminnasta aiheutuvia, usein fossiilisten polttoaineiden polttamisesta johtuvia yhdisteitä. Näiden saasteiden ohjeisto on valtiolta antanut päätöksen vuonna 1984, joka on myös sisällytetty vuoden 1987 D2:n määräyksiin.

4.3.4 Rikkidioksidi

Rikkidioksidi on, pistävänhajuinen, väritön, ärsyttävä ja syövyttävä kaasu, joka on rikin sekä hapen yhdistelmä. Rikkidioksidia syntyy esimerkiksi rikin tai rikkipitoisten aineiden palaessa. Näitä ovat esimerkiksi kivihilli ja öljy. Rikkidioksidia on ulkoilmassa hiukkasiina tai kaasumaisena aerosolina. Rikkidioksidi on ongelmallinen ilmansaaste muun muassa sen takia, että se reagoi herkästi veden kanssa muodostaen rikkihapoketta, joka muuntautuu vielä rikkihapoksi. Rikkihappo liukenee sateiden sisältämiin vesipisaroihin, jotka satavat alas maaperää ja vesistöjä happamoittavana ja rakennusmateriaaleja syövyttävänä happamana sateena. Sisäilman rikkidioksidipitoisuuden pitää valtioneuvoston päätöksen mukaisesti alittaa 40 µg/m³ vuosikeskiarvolla ja 200 µg/m³ vuorokausikeskiarvolla mitattuna. (10)

Kansainvälisen yhteistyön tuloksena rikkidioksidipäästöt ovat merkittävästi pienentyneet, ja ne ovatkin nykyään vain noin kymmenen prosenttia vuoden 1980 tasosta. Rikkidioksidipäästöjen näin merkittävä pieneneminen on vastaavasti alentanut ilman rikkidioksidipitoisuutta. Tilanne oli toinen vuonna 1987, kuten kuvio 4 osoittaa.



Kuvio 4. Rikkidioksidi Suomessa 1985–2008, Ilmatieteen laitos

4.3.5 Typpidioksidi ja hiilimonoksidi

Typpidioksidi (NO_2) on punertava myrkyllinen kaasu, jota syntyy kaikessa palamisessa, erityisesti korkeassa lämpötilassa tapahtuvassa palamisessa. Suomessa typpidioksidin kokonaispäästöstä noin 65 prosenttia tulee energiatuotannosta ja teollisuudesta ja 35 prosenttia liikenteestä. Liikenteellä on kaupunkien ilmanlaatuun päästösuuttaan suurempi vaikutus, koska liikenteen päästöt tapahtuvat maanpinnan tasolla, suoraan ihmisten hengitysilmaan. Typpidioksidi aiheuttaa ihmisille hengitysteiden ärsytystä, ja luontoon päädyttyään se puolestaan aiheuttaa rehevöitymistä ja happamoitumista. (11)

Hiilimonoksidi (CO) eli häkä on väritön ja hajuton, veteen niukkaliukoinen, ilmaa hie- man kevyempi, ja ihmiselle hyvin vaarallinen kaasu. Hiilimonoksidia syntyy epätäydelli- sessä palamisprosessissa, mutta sitä voidaan myös valmistaa teollisesti. Pieninä an- noksina hiilimonoksidi voi aiheuttaa ihmiselle sydämen ja hermoston muutoksia. Suu- rempina annoksina hiilimonoksidi aiheuttaa päänsärkyä, huimausta, hengästyneisyyttä, pahoinvointia, ja lopuksi kuoleman. (12)

Hiilimonoksidin pääasiallinen lähde on liikenne, mutta arjessa hiilimonoksidia tuottavat myös väärin toimivat uunit tai takat. Hiilimonoksidipitoisuuden tutkiminen sisäilmasta

onkin aiheellista silloin, kun on epäily, että esimerkiksi autojen pakokaasuja kulkeutuu asuntoon tieltä tai samassa rakennuksessa sijaitsevasta autotallista. (13)

Valtioneuvosto on päätöksessään 537/84 rajoittanut myös oheisten kaasujen rakennusten sisäilmapitoisuuksia. Typpidioksidia saa olla alle $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuorokausikeskiarvolla mitaten ja alle $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tuntikeskiarvolla mitaten. Hiilimonoksidia saa olla sisäilmassa alle $10 \text{mg}/\text{m}^3$ kahdeksan tunnin aikajaksolla mitaten ja alle $30 \text{mg}/\text{m}^3$ tuntikeskiarvolla mitaten. Vuodesta 1990 typpioksidipäästöt ovat melkein puolittuneet, joten ilmanlaatu on typpioksidipitoisuuden kannalta parantunut huomattavasti. Nykyään ei siis ole vaaraa, että nämä vuonna 1984 annetut enimmäispitoisuudet ylittyisivät.

Valtioneuvosto kuitenkin päätti asetuksella 711/2001 uusista kiristyneistä ulkoilmaa rajoittavista raja-arvoista. Voimaan tulleet raja-arvot typpidioksidin osalta olivat $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yhden tuntikeskiarvolla mitaten ja $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kalenterivuosiskeskiarvolla mitaten. Raja-arvot saivat ylittyä 18 päivää vuodessa. Näihin raja-arvoihin pitoisuuksien osalta tuli päästä 1. tammikuuta 2010 mennessä.

4.3.6 Hengitettävät hiukkaset

Hengitettäväksi hiukkasiksi kutsutaan halkaisijaltaan alle 10 mikrometrin (μm) hiukkasia. Nämä voidaan vielä jakaa karkeisiin hiukkasiin, jotka ovat 2,5–10 mikrometrin kokoisia, ja pienhiukkasiin, jotka ovat alle 2,5 mikrometrin kokoisia. Molempien kokoluokkien hiukkaset kulkevat hengitysilman mukana ihmisen keuhkoihin saakka.

Kemialliselta koostumukseltaan hiukkaset voivat olla esimerkiksi vaaratonta pölyä tai mereltä kulkeutuvaa suolaa, mutta niihin voi liittyä myös haitallisia raskasmetalleja tai hiilivetyjä. Suurin osa kaupunki-ilman hengitettävistä hiukkasista on liikenteen aiheuttamaa katupölyä. Hiukkaspitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin hiekoitus-hiekka ja asfalttipöly nousevat liikenteen aiheuttamina kuivilta kaduilta. (14)

Tuloilma voidaan puhdistaa erilaisten suodattimien avulla. Hiukkasten poistaminen sisäilmasta on mahdollista hieno-, HEPA- tai ULPA-suodattimien avulla. Päätöksen nro 537/84 mukaan sisäilman hiukkaspitoisuus pitää olla alle $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuosikeskiarvolla mitattuna ja alle $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuorokausikeskiarvolla mitattuna. Hiukkaspäästöt ja samalla ilman hiukkaspitoisuudet ovat pienentyneet 1980-luvulta. Samalla on myös hiukkaspitoisuuden raja-arvoa laskettu $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuorokausikeskiarvolla mitattuna. (15)

4.3.7 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi (CO₂) hiilestä ja hapesta koostuva kemiallinen yhdiste, joka on hajuton, väritön, ja myrkytön kaasu. Hiilidioksidia esiintyy ilmakehässä luontaisesti pieninä pitoisuuksina, mutta sitä tuottaa myös ihminen aineenvaihdunnan tuotoksena. Suurina pitoisuuksina se on ihmiselle myrkyllistä.

Sisäilmassa oleva hiilidioksidimäärä voi osoittaa ihmisistä peräisin olevien epäpuhtauksien määrän sisäilmassa. Mikäli ilmanvaihto ei ole riittävä, nousee ilman hiilidioksidipitoisuus ja sisäilma voi tuntua tunkkaiselta. Hiilidioksidin suuri osuus sisäilmassa voi aiheuttaa päänsärkyä, väsymystä, ja esimerkiksi työskentelyn huononemista.

Vuoden 1987 D2 asetti sisäilman hiilidioksidipitoisuudelle raja-arvon 2 500 ppm, josta ihmisperäisen osuus oli enintään 1 500 ppm. Tämä oli verrattain suuri pitoisuus, sillä tällä hetkellä vallitseva näkemys on, että sisäilma ollakseen laadultaan tyydyttävää saa sisältää korkeintaan 1 500 ppm hiilidioksidia. Rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat määräykset vuodelta 2010 toteavat, että sisäilman hiilidioksidipitoisuus ei saisi yleensä ylittää arvoa 1 200 ppm. (16, s. 7)

4.3.8 Ilmanvaihtolaitteiston äänitaso

Ilmanvaihtolaitteistojen yleistettyä niiden pääasiallinen huono puoli on ollut niistä aiheutuva melu. Jos laitteiston melu on ollut niin häiritsevää, että se on tästä syystä sammu-tettu kokonaan, ei se ole ollut tarkoituksenmukainen viihtyisän sisäilman luomisessa. Tästä syystä määrättiin, että ilmanvaihtolaitos ei saanut aiheuttaa tai välittää oleskeluti-laan ääntä, joka tilan kokonaisäänitason huomioon ottaen oli häiritsevää.

Ilmanvaihdon aiheuttaman enimmäisäänitason ohjearvot annettiin D2:n liitteessä. Jokaiselle huoneelle tai tilalle annettiin desibelitaso, joka ei saanut ylittyä. Lisäksi viitattiin rakentamismääräyskokoelman osaan C1 "Äänieristys", jossa oli määräyksiä ja ohjeita äänieristyksestä.

4.4 Rakennusten ilmanvaihto ja ilmanvaihtolaitokset

Seuraavissa ala esitellään ilmanvaihtoa ja ilmanvaihtolaitoksia koskevat muutokset vuoden 1987 D2:ssa. Muutoksia oli tehty lähinnä ilmavirtoja, laitteiston teknisiä ominaisuuksia ja energiankulkua koskeviin määräyksiin ja ohjeisiin.

4.4.1 Ilmavirrat

Vuoden 1987 D2 määräsi, että oleskelutiloihin oli johdettava tyydyttävän sisäilman takaava määrä ulkoilmaa, joten rakennuksen sisälle tuotavien ulkoilmavirtojen määrää muutettiin. Lisääntynyt tietoisuus tupakoinnin haitoista johti ilmavirtojen kasvattamiseen niissä tiloissa, joissa tupakointi oli sallittu. D2 määräsi, että tiloihin, joissa sai tupakoida, tuli johtaa ulkoilmaa vähintään $10 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohden. Mikäli tilassa ei tupakoitu, riitti ulkoilmaa $4 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohden, olettaen, että huonetilavuus oli vähintään 13 m^3 . Tämä vastaa noin 5,2 neliön normaalikorkuista huonetta. Jos huonetilavuus tästä pieneni, oli vastaavasti huoneeseen tuotava enemmän ilmaa. Vähimmäisilmanvaihdon tuli kuitenkin aina olla puolikertainen.

D2 määräsi tarkasti tilojen vähimmäisilmamäärät. Jos suurempia ilmavirtoja tarvittiin, oli se sallittu. Suurempia ilmavirtoja voitiin tarvita esim. riittävän jäähdytyksen tai normaalia suuremman kosteusmäärän poistamiseksi. Ilmavirrat mitoitettiin tällöin laskelmien mukaan. (5, s. 5.)

Energian säästämiseksi annettiin edelleen mahdollisuus ilmanvaihdon pienentämiseksi enintään 50 prosenttia, kun ulkoilman lämpötila oli enintään 15 °C yli paikkakunnan mitoituslämpötilan, jos siitä ei aiheutunut haittaa. Ilmavirtojen pienentäminen oli sallittu vain poistoilmavirtojen osalta.

4.4.2 Jäteilman poistaminen rakennuksesta

Määräykset jäteilman poistamisesta rakennuksesta tarkentuivat ja kiristyivät huomattavasti vuoden 1978 D2:n vastaavista määräyksistä. Aiemmasta poiketen vuonna 1987 määrättiin, että jäteilman johtaminen rakennuksesta ulos perustui jäteilman poistoilma- luokkaan. Jäteilma jaettiin viiteen luokkaan:

Luokka 1.

Kosteudeltaan samankaltainen poistoilma kuin ulkoilman, ja jonka epäpuhtaus tulee pääasiassa rakenteista. Tämä voi olla poistoilmaa esimerkiksi porrashuoneista, hissikuiluista, tai erityisen puhtaista tiloista. Ilmaa voidaan käyttää palautus- ja siirtoilmana.

Luokka 2.

Oleskelutilojen poistoilma, jonka epäpuhtaudet ovat pääosin lähtöisin ihmisistä ja rakenteista. Tämä voi olla poistoilmaa esimerkiksi toimistotiloista, opetustiloista, kokoontumistiloista, tai liiketiloista. Ilmaa voidaan käyttää palautus- ja siirtoilmana.

Luokka 3.

Oleskelutilojen poistoilma, joka sisältää jonkin verran epäpuhtauksia. Poistoilmaa ei käytetä palautusilmana, mutta sitä voidaan käyttää siirtoilmana WC-, tai pesutiloihin. Tämä voi olla poistoilmaa esimerkiksi asuinhuoneista, ruokailutiloista, myymälöistä, tai jakelukeittiöistä.

Luokka 4.

Poistoilma tiloista, joissa prosessit, kosteus ja kemikaalit merkittävästi alentavat poistoilman laatua. Ilmaa ei saa käyttää palautus- tai siirtoilmana. Luokan 4 poistoilmaa tulee esimerkiksi WC- tai pesutiloista, saunoista, keittiöistä, kemiallisista laboratorioista tai tupakkahuoneista.

Luokka 5.

Poistoilma joka sisältää pahanhajuisia tai epäterveellisiä epäpuhtauksia huomattavasti enemmän kuin sisäilmassa on sallittu. Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana. Tämä voi olla poistoilmaa esimerkiksi ammattikeittiöistä, grilleistä, autosuojista, maalien ja liuottimien käsittelyhuoneista, liikapyykkituloista tai elintarvikejätehuoneista. (5, s. 9.)

Rakennuksen jäteilma-aukot tuli sijoittaa taulukon 2 ja kuvion 5 mukaisesti. Esitetyt arvot olivat minimietäisyyksiä, ja suurempia etäisyyksiä tuli aina käyttää, mikäli se oli mahdollista. (5, s. 9.)

Taulukko 2. Jäteilma-aukkojen etäisyydet

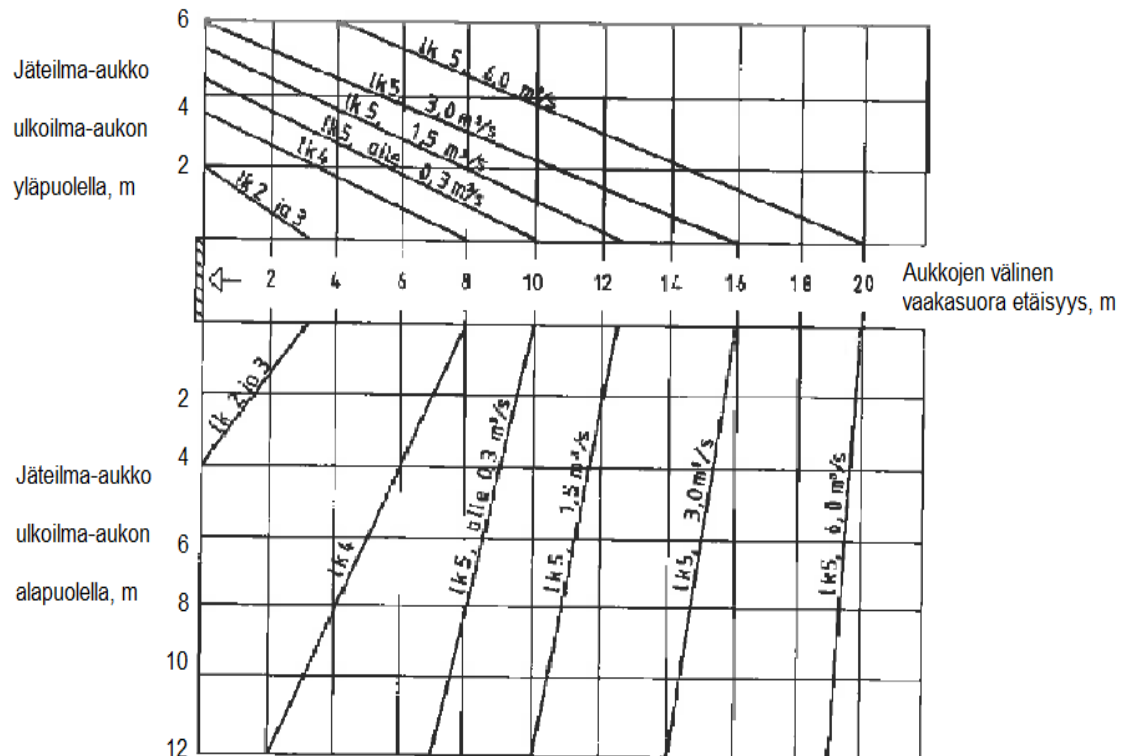
Poisto- ilma- luokka	A	B m	C m	D m	E	F m
1	–	–	–	0,8	*	2
2 ja 3	kuva	2	3	2	*	2
4	kuva	4	6	3	*	5
5	kuva	6	10	5	*	8

Jäteilma-aukon etäisyys:

A ulkoilma-aukosta, B alapuolella olevista avattavista ikkunoista,

C samalla tasolla tai yläpuolella olevista avattavista ikkunoista tai oleskelutasoista,

D maanpinnasta, E kattopinnasta, F naapuritontista, mutta ei koske pientaloja.



Kuvio 5. Jäteilma ja ulkoilma-aukkojen väliset etäisyydet (5, s. 9.)

Jäteilma-aukon sijoituksessa tuli ensin selvittää jäteilman luokka ja tämän jälkeen jäteilman määrä. Kun nämä olivat tiedossa, tuli taulukkoa ja kuviota yhdistelemällä pysytävä hyväksytysti sijoittamaan jäteilma-aukko. Taulukko määritteli jäteilma-aukon minimietäisyydet ikkunoista, maanpinnasta, kattopinnasta ja naapuritontista. Tietämällä

jäteilmaluokka oli taulukkoa lukemalla helppo määrittellä jäteilma-aukon minimietäisyys edellä mainituista kohteista.

Kuvio määritteli jäteilma-aukon ja ulkoilma-aukon suhdetta toisiinsa. Kuvio on kaksiosainen, ja tulkitseminen riippui siitä, oliko jäteilma-aukko ulkoilma-aukon ala- vai yläpuolella. Jäteilma-aukon etäisyys ulkoilma-aukosta oli piirretty yhtälönä, jossa muuttujana oli vaakasuora ja pystysuora etäisyys molemmista aukoista.

Huomattava on, että ei ollut samantekevää, kumpi ilma-aukko oli ylempänä. Rakennuksen jäteilma on lähestulkoon aina lämpimämpää kuin ulkoilma. Lämmin jäteilma nousee ylöspäin ja voi kulkeutua, ilman riittävää suojaetäisyyttä, ylempänä olevaan ulkoilma-aukkoon. Esimerkiksi kuvasta lukemalla voi todeta, että jos luokan 2 ja 3 jäteilma-aukko oli ulkoilma-aukon yläpuolella, piti etäisyyttä niiden välillä olla vähintään noin 1,5 metriä. Jos edellä mainittujen vaakaetäisyys oli noin 3 metriä, ei pystyetäisyyttä tarvinnut olla. Vastaavasti jos jäteilma-aukko oli ulkoilma-aukon alapuolella, piti etäisyyttä olla vähintään 1,8 metriä. Jos niiden keskinäinen vaakasuora etäisyys oli 0 metriä, eli ne olivat päällekkäin, tuli etäisyyttä olla 4 metriä. Vaikka luokan 5 jäteilma-aukon sijoittamisesta oli ohje sekä taulukossa että kuviossa, piti suuruudeltaan yli 3 m³/s jäteilmavirran jäteilma-aukosta kuitenkin aina neuvotella ennakkoon viranomaisten kanssa. (5, s. 9.)

Kuvion ja taulukon lisäksi jäteilma-aukon sijoituksesta annettiin lisäohjeita. Luokan 1 jäteilman sai lisäohjeen mukaan johtaa rakennuksesta ulos ilman rajoituksia, kunhan tämä ei tapahtunut poistumistielle tai oleskelualueelle.

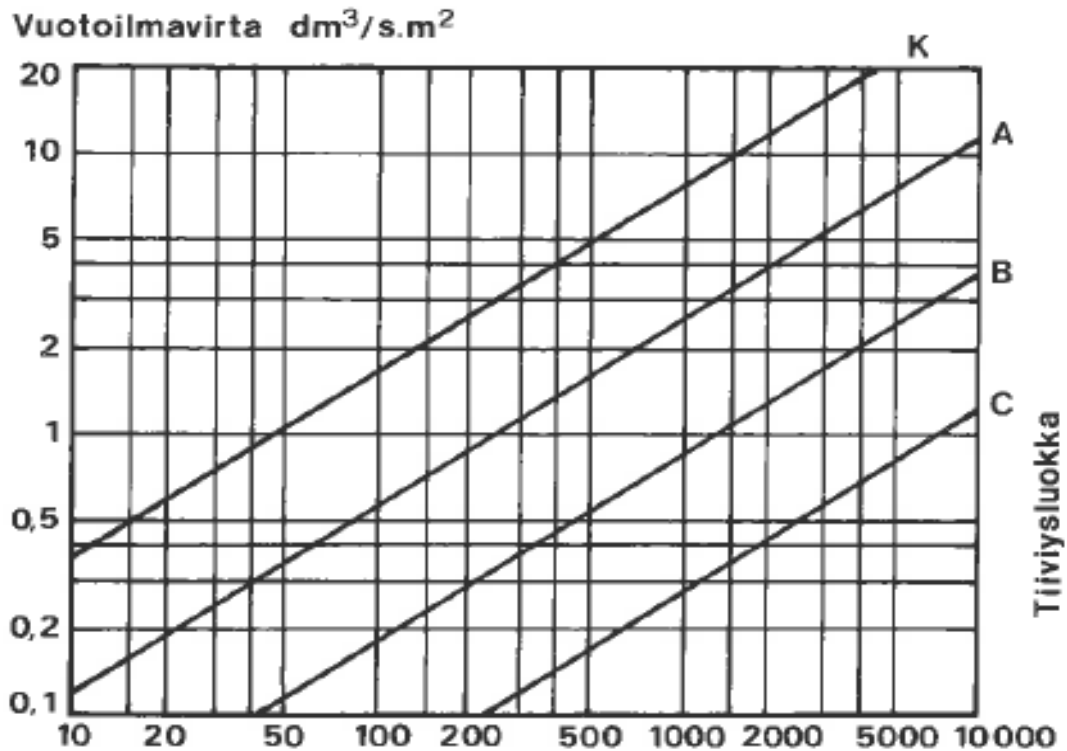
Luokan 2 jäteilma voitiin johtaa ulos rakennuksesta seinässä olevan jäteilma-aukon kautta, jos

- aukon etäisyys naapuritontista oli vähintään 4 metriä ja vastapäisestä rakennuksesta vähintään 8 metriä
- aukon etäisyys samalla seinällä olevista ulko- tai jäteilma-aukosta oli vähintään 1,5 metriä
- ilmavirta oli enintään 1 m³/s ja nopeus aukossa vähintään 5 m/s.
-

Ohje on mielestäni ristiriidassa taulukon kanssa, jossa jäteilma-aukon etäisyys naapuritonttiin oli määrätty vähintään kahteen metriin kyseisen jäteilmaluokan osalta. (5, s. 9.)

4.4.3 Ilmanvaihtolaitoksen tiiveys

Määräyskokoelman osa D2 totesi vuoden 1987 versiossa selkeästi, että ilmanvaihtolaitoksen osien tuli olla riittävän tiiviit. Riittävä tiiveys tarkoitti tässä tapauksessa, että vuotoilmamäärä ei saanut ylittää 6 prosenttia laitoksen kokonaisilmamäärästä. Vaadittava tiiveys saavutettiin määräysten mukaan, jos ilmanvaihtolaitoksen kanavat ja muut osat valittiin ja liitettiin toisiinsa niin, että standardista SFS-4699 lainatun kuvan mukaiset tiiveysluokat täyttyivät.



Kuvio 6. Eri tiiveysluokat D2:n mukaan (5, s. 11)

Kuva oli aiemmin esitelty vuoden 1978 määräyskokoelman osassa D2 ja sitä täydennettiin tiiveysluokilla K ja C. Tiiveysluokka C:tä voitiin D2:n mukaan käyttää, mikäli ilmapuodolla oli huomattavaa merkitystä ilmanvaihdon toiminnalle, rakennuksen painesuhteille, tai esimerkiksi äänitasolle. Tiiveysluokan K vuotoilmamäärä sallittiin koteloiduille ilmanvaihtokoneille ja puhaltimille sekä muille erillisille osille tarkoitetuille kammiolle ja konehuoneille. (5, s. 11.)

4.4.4 Energiatalous

Kiristyneet energiansäästö tavoitteet, ja koneellisten tulo- ja poistoilmapuhaltimien yleistyessä 1980-luvulla myös pientaloihin, johtivat asian huomioimiseen myös rakentamismääräyksissä. Tästä syystä D2 määräsi, että ilmanvaihdon energiankulutuksen tuli olla mahdollisimman pieni. Energiansäästö oli toteutettava tinkimättä tyydyttävästä sisäilmasta. Energiansäästö tuli saada aikaiseksi 2-osaisella ratkaisulla:

1. D2 määräsi, että koneellinen tulo- ja poistoilmalaitos tuli varustaa yleensä lämmöntalteenotolla, jonka hyötysuhde oli vähintään 50 prosenttia, kun kyseessä oli ilmanvaihto, missä tulo- ja poistoilmavirtojen suhde oli 1.

Ohjetta voitiin pitää suosituksena, sillä lämmöntalteenotosta sai luopua, jos sen rakentaminen osoittautui epätarkoituksenmukaiseksi. Syitä tähän oli esimerkiksi poistoilmavirta alle 1 m³/s, lyhyempi käyttöaika viikossa, tai että poistoilmavirta oli poikkeuksellisen liikaista. (5, s. 11) Vapautus lämmöntalteenottolaitteistoon rakentamisesta annettiin käytännössä kaikille pientalorakentajille, sillä pientalojen poistoilmavirrat ovat yleensä paljon pienemmät kuin ohjeen raja-arvo.

2. Ilmanvaihtolaitteiston puhaltimet piti valita niin, että ne toimivat hyvällä hyötysuhteella. Hyötysuhteen laskemisesta oli julkaistu standardi (SFS 5147), jota oli myös määräyskokoelman osaan D2 lainattu. Hyötysuhde tuli laskea kaavasta:

$$\eta = \frac{q_{v1} * P_{tF}}{P_E}$$

jossa

η	on kokonaishyötysuhde,
q_{v1}	on puhaltimen tilavuusvirta m ³ /s,
P_{tF}	on puhaltimen kokonaispaine kPa,
P_E	on moottorin ottoteho kW. (lähde)

Ilmanvaihtolaitteiston energiankulutus oli monen tekijän summa. Ilmanvaihdon kokonaisenergian tarve oli riippuvainen ilmavirroista, painehäviöstä kanavistossa, lämmöntalteenoton energiantarpeesta sekä puhaltimien energian tarpeesta olettaen,

että tuloilmaa ei jälkilämmitetty lämmöntalteenoton jälkeen. Kaavaa hyödyntäen saatiin puhaltimen tehontarve kW:

$$P = \frac{q_{v1} * \Delta P_{tot}}{\eta}$$

jossa

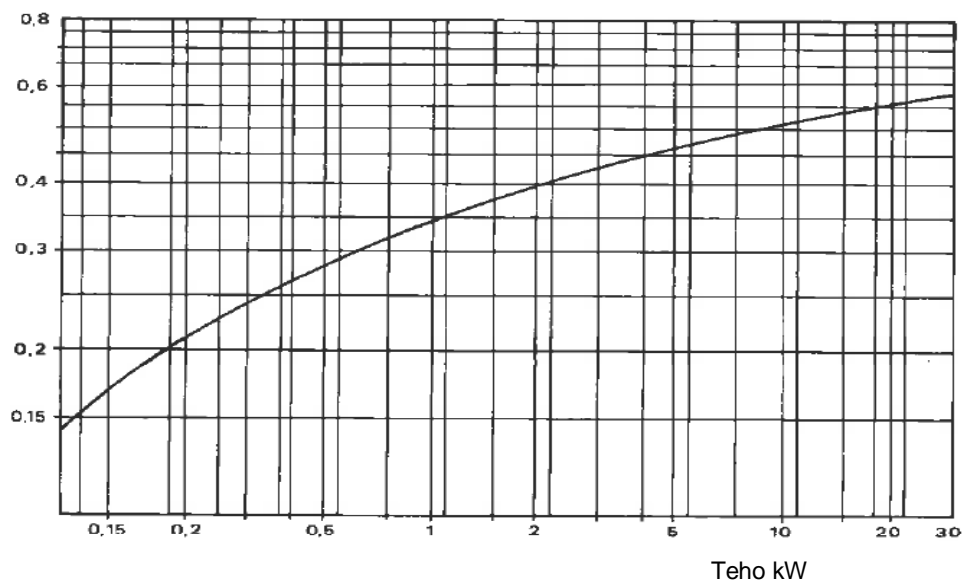
- P on puhaltimen tehontarve kW,
 q_{v1} on puhaltimen tilavuusvirta m³/s,
 ΔP_{tot} on paine-ero kPa,
 η on kokonaishyötysuhde.

Puhaltimelta tarvittava paineenkorotus riippui näin kanaviston painehäviöistä. Painehäviöitä syntyi itse kanavassa, suodattimissa, pääte-elimissä, ja mahdollisesti muissa ilmanvaihtolaitteistoon liitetyissä osissa. (17, s. 17)

Puhallin tuli määräysten mukaan näin ollen valita siten, että sen toimintapiste, eli puhaltimen ja laitoksen ominaiskäyrien leikkauspiste, oli mahdollisimman lähellä puhaltimen parasta hyötysuhdealuetta. Kokonaishyötysuhde oli puhaltimen, sähkömoottorin, ja välityksen hyötysuhteiden summa.

Kuviosta voi nähdä, että esimerkiksi 1kW:n puhaltimen kokonaishyötysuhteen tuli olla vähintään 0,35 ja 10 kW:n puhaltimen 0,52. (5, s. 11)

Kokonaishyötysuhde



Kuvio 7. Puhaltimen kokonaishyötysuhde (5, s. 11)

4.4.5 Ilmanvaihtolaitoksen suunnitelmat, toteutus, ja käyttöönotto

Selvänä vaatimusten kiristymisenä voidaan pitää määräyskokoelman osan D2 määräyksiä koskien ilmanvaihtolaitoksen suunnittelua ja käyttöönottoa. Siinä määrättiin, että rakennuksille oli tehtävä kaikenkattava ilmanvaihtosuunnitelma, joka sisälsi ilmanvaihtosuunnitelman mitoitusarvot sekä ilmanvaihtolaitoksen komponentit ja toiminnan. Ilmanvaihtosuunnitelmassa oli esitettävä sisäilmaston tavoitearvot, laitoksen laatutaso sekä laitoksen mitoituksen, rakentamisen ja käytön kannalta olennaiset tiedot. Olennaisia tietoja, jotka oli sisällytettävä suunnitelmaan, olivat esimerkiksi ulko-, jäte-, tulo-, ja poistoilmavirrat, mitoituslämpötilat, äänitasot, huonetilojen vetokriteerit, kanava- ja venttiilikoot, sekä edellä mainittujen painehäviöt.

Yllämainittujen lisäksi oli ilmanvaihtosuunnitelmassa esitettävä tietoa suodattimista, laitteiden lämmitys-, jäähdytys- ja kostutustehoista, mittauspisteistä, puhaltimien kokonaishyötysuhteista ja näiden maksimitehonkulutuksesta sekä kanaviston ja laitteiden tiiveysvaatimuksesta. Ilmanvaihtolaitoksen toiminta kuului selostaa toimintasuunnitelmassa sisältäen toiminta- ja säätökaaviot, piirustukset, ilmanvaihtotöiden tekninen erittely, käyttöönotto-ohjelma, ja käyttöohjeet. (5, s. 12.)

Ennen ilmanvaihtolaitoksen käyttöönottoa oli sen tiiveys mitattava. Tämä oli tehtävä standardin SFS 3542 mukaisesti.

5 D2 2003

Ympäristöministeriö säätöi 30. päivänä lokakuuta 2002, yli-insinööri Pekka Kalliomäen johdolla, 16 vuotta vuoden 1987 D2:n julkaisun jälkeen, määräyksiä ja ohjeita noudatettavaksi koskien rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa. Asetus tuli voimaan 1. päivänä lokakuuta 2003, ja sillä kumottiin edellinen, vuonna 1987 annettu päätös rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. (18, s. 1.)

Vuonna 1987 annetut määräykset toimivat hyvin, mutta yli-insinööri Pekka Kalliomäen mukaan uuden, vuoden 2003 D2:n tarkoituksena oli ajanmukaistaa sinänsä hyvät määräykset ja ohjeet vuodelta 1987. Ajanmukaistamisessa oli tarkoitus ottaa huomioon muutokset maankäyttö- ja rakennuslaissa, uusi sisäilmatutkimus, ilmanvaihtotekniikan kehittyminen ja energiansäästötavoitteet. Kalliomäen mukaan mm. rakentamismääräyskokoelman osien C3:n, C4:n ja D2:n uudistamisella pyrittiin 25–30 prosentin ener-

giansäästöön rakennusten energiankulutuksessa aiempaan määräystasoon verrattuna. (20, s. 8.)

Vuoden 2003 määräyskokoelman osa D2 oli edeltäjänsä tapaan jaettu viiteen osaan, jotka sisälsivät määritelmiä, määräyksiä ja ohjeita 19 sivua sekä 11 sivua liitteitä. Merkittävin uudistus vuoden 2003 D2:ssa oli ajatus sisäilman laadun parantamisesta. Tavoitteeseen tuli päästä Pekka Kalliomäen mukaan, kun huomioitiin, että sisäilma muodostui koko rakennuksesta eikä ainoastaan ilmanvaihdosta. Rakennuksen kokonaisuuden suunnittelulla ja rakentamisen laadulla luotiin edellytykset hyvälle sisäilmastolle. (20, s. 8.)

5.1 Rakennushankkeeseen ryhtyvän huolehtimisvelvollisuus

Ympäristöministeriö antoi 2000-luvun alussa uusia määräyksiä rakentamisen vastuusuhteista. Koska uudet määräykset vaikuttivat myös rakennuksen ilmanvaihtoa ja sisäilmastoa koskeviin määräyksiin, esitellään nämä alla lyhyesti.

Rakennushankkeeseen ryhtyvän oli maankäyttö- ja rakennuslain mukaan huolehdittava siitä, että rakennus suunniteltiin ja rakennettiin säädösten, määräysten ja myönnetyn rakennusluvan mukaisesti. Lisäksi hänellä tuli olla riittävät edellytykset sen toteuttamiseen sekä käytettävissään pätevä henkilöstö. (21, s. 5.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan A2 (2002) ohjeessa todettiin kuitenkin, että rakennushankkeeseen ryhtyvällä ei itsellään täytynyt olla maankäyttö- ja rakennuslain vaatimia edellytyksiä. Nämä hän saattoi hankkia ulkopuolisilta tahoilta, esim. konsultilta, joka rakennushankkeen vaativuuden huomioon ottaen omasi riittävän asiantuntemuksen. (21, s. 5.)

5.2 Pääsuunnittelijan toimenkuva

Rakennushanke alkaa suunnitteluprosessilla. Tämän takia rakennushankkeeseen ryhtyvällä tuli olla käytettävissään riittävän pätevät suunnittelijat. Pääsuunnittelijan tehtävänä oli vastata rakennushankkeen suunnittelun kokonaisuudesta, rakennuksen toimivuudesta, riittävästä laadusta ja siitä että tehdyillä suunnitelmissa voitiin näyttää rakentamiselle asetettujen vaatimusten täyttyminen (22).

”Pääsuunnittelija” ja ”pääsuunnitelma” eivät kuitenkaan olleet uusia keksintöjä. Ne ovat itse asiassa käsitteitä jo 1970-luvulta. Talonrakentamisprosessissa arkkitehti piirsi rakennuksen, eli teki pääsuunnitelman, ja muut suunnittelijat tekivät tarvittavat erityissuunnitelmat. Tämä johti ennen pitkää siihen, että suunnittelu jakautui osasuorituksiin ilman selkeätä jatkuvuutta, kokonaisnäkömyksen hämärtymiseen ja rakentamisen laatutason heikentymiseen. (23)

Vastuu suunnitteluprosessista ja rakentamismääräysten täyttymisestä annettiin pääsuunnittelijalle, jonka tehtävänä oli huolehtia siitä, että rakennuksen suunnitelmat ja erityissuunnitelmat muodostivat toimivan kokonaisuuden. On myös huomattava, että pääsuunnittelija vastasi työstään rakennusvalvontaviranomaiselle eikä rakennuttajalle. Tämä tarkoitti, että viranomaisella oli nyt parempi mahdollisuus pääsuunnittelijan kautta valvoa ja vaikuttaa rakennuksen suunnitteluun ja ennen kaikkea rakentamisen laatuun.

5.3 Työnjohtajan toimenkuva

Maankäyttö- ja rakennuslaki (122 § 1. momentti) toteaa, että luvanvaraisessa, tai muussa viranomaishyväksyntää edellyttävässä, rakennustyössä tulee olla työn suorituksesta ja sen laadusta vastaava henkilö, joka johtaa rakennustyötä sekä huolehtii rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan ja hyvän rakennustavan mukaisesta työn suorittamisesta. Tarpeen mukaan rakennustyössä tulee olla erityisalan työnjohtajia sen mukaan kuin asetuksella säädetään tai viranomaisen vaatii. (24, s. 7.)

Rakennusprojektia valvovan työjohtajan hyväksyy kunnan rakennuslupaviranomainen, joka arvioi rakennustyön vaativuuden pohjalta työnjohtajaksi haluavan soveltuvuuden tehtävään. Pätevyys tehtävään on yleensä todistettava koulusta ja työkokemuksista saaduilla todistuksilla tai muulla luotettavalla tavalla. (24, s. 11.)

Kun sekä rakennuksen suunnittelu että työjohto ovat kunnan rakennustarkastajan valvonnassa, on viranomaisella tällöin paremmat edellytykset valvoa rakentamista. Uudistusten päätavoitteena oli lisätä valvonnan kautta rakentamisen laatua. Erittäin mielenkiintoinen tutkinnan kohde olisi selvittää, onko lisääntyneellä viranomaisvalvonnalla ollut positiivinen merkitys rakentamisen laatuun.

5.4 Sisäilmasto

Vuoden 1987 D2 määräsi, että huonetilojen oleskeluvyöhykkeellä on saavutettava tyydyttävä sisäilmasto. Vuoden 2003 D2:n mukaisesti puolestaan rakennus oli suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutettiin kaikissa tavallisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. (18, s. 4.) Varmistukseksi sisäilmaston laadun täyttymisestä määräysten laatija asetti pääsuunnittelijan huolehtimaan, että tulevassa rakennuksessa on hyvä sisäilmasto.

Vastaava työnjohtaja määrättiin omalta osaltaan huolehtimaan mm. siitä, että kaikkia suunnitelmia noudatettiin ja että työ tehtiin hyvän rakennustavan mukaisesti. Tämä tarkoitti käytännössä sitä, että työnjohtaja vastasi rakennustarkastajalle katselmuksissa tehdyn työn oikeellisuudesta ja laadusta. (24, s. 10.)

5.4.1 Ilmanlaatu ja epäpuhtaudet

Terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto voitiin saavuttaa vuoden 2003 määräysten mukaan, kun sisäilmassa ei esiintynyt terveydelle haitallisen suurta määrää kaasuja, hiukkasia, tai mikrobeja, eikä hajuja. Sisäilman epäpuhtauksille annettiin raja-arvoja, jotka poikkesivat vuoden 1987 D2:ssa annetuista arvoista.

Tärkeimpänä muutoksena puhuttaessa sisäilman epäpuhtauksista voi pitää ilman hiilidioksidipitoisuuden (CO₂) laskemista vuoden 1987 määräyksistä. Sen hyväksyttävä pitoisuus laski enintään 2160 mg/aan/m³, mikä on 340 mg/m³ vähemmän kuin vuoden 1987 D2:ssa. (18, s. 6.)

Hiilidioksidipitoisuutta mitataan myös tilavuuden miljoonasosissa (ppm). Tyypillinen ulkoilmapitoisuus on 350–450 ppm. D2 määräsi enimmäispitoisuuden huoneilmassa 1200 ppm:ään. Toisaalta, Asumisterveysohje vuodelta 2003 määritteli sisäilman terveydensuojelun vaatimukset täyttäväksi, kun hiilidioksidipitoisuus oli alle 1 500 ppm. Asumisterveysohje totesi kuitenkin samalla, että huoneilma saattaa tuntua tunkkaiselta jo alemmissakin hiilidioksidipitoisuuksissa, esimerkiksi 1 200 ppm:ssä. (8, s. 63.)

Sisäilmastoluokitus vuodelta 2008 jakoi hyväksyttävän sisäilman kolmeen luokkaan, joissa huoneilman hiilidioksidipitoisuus on yksi arviointikriteereistä. Parhaassa mahdol-

lisessa sisäilmaluokassa (S1) sai ilman hiilidioksidipitoisuus olla korkeintaan 750 ppm. Toiseksi parhaassa luokassa (S2) sai hiilidioksidia olla ilmassa enintään 900 ppm ja tyydyttävässä sisäilmassa 1 200 ppm. (25, s. 4.)

Vuoden 2003 D2:n hiilidioksidin hyväksyttävää enimmäistasoa voi siis pitää melko korkeana. Tämä huoneilman enimmäishiilidioksidipitoisuus on kuitenkin vakiintunut hyväksyttäväksi tasoksi, sillä sitä ei ole vuoden 2003 jälkeen enää muutettu.

Asbestin olemassaolo sisäilmassa kiellettiin kokonaan vuoden 2003 D2:ssa, mutta formaldehydiä sai olla enemmän kuin ennen: $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tämä pitoisuus ylittää hajukynnyksen. (18, s. 6.)

5.4.2 Lämpöolojen suunnittelu

Aiemmasta D2:sta poiketen annetaan huoneen oleskeluvyöhykkeen lämpötilan suunnitteluarvoksi $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ja kesäkauden vastaavaksi suunnitteluarvoksi $23 \text{ }^\circ\text{C}$. Vaikka uuden ohjelämpötilan myötä annettiin tilaa myös poikkeuksille, on $21 \text{ }^\circ\text{C}$ vakiintunut sisäilman uudeksi mitoituslämpötilaksi. Tämä ei tarkoita sitä, että huoneilma esim. kerrostaloissa pidettäisiin mitoituslämpötilassa.

5.4.3 Ilmanvaihtojärjestelmän tiukempi tiiviysvaatimus

Vuoden 2003 D2:n mukaan ilmanvaihtojärjestelmän ja sen osien tuli olla riittävän tiiviit ja lujat. Vaatimus riittävän tiiviistä kanavistosta ei ollut uusi. Asia mainittiin lyhyesti jo vuoden 1976 D2:ssa. Kaksi vuotta myöhemmin, vuonna 1978 julkaistussa D2:ssa, vaadittiin tehtäväksi tiiviyskoetta ja esiteltiin ensimmäiset tiiviysluokat.

Vuonna 2003 D2:ssa uudistettiin jälleen tiiviysvaatimuksia. Tiiviysluokat jaettiin viiteen luokkaan neljän sijasta. Tiiviysluokan A kanavistolle sallittiin suurin suhteellinen vuotoilma, kun vastaavasti luokan E kanavistolle pienin vuotoilma. Sallitut vuotoilmamäärät tuli laskea oheisten kaavojen mukaan. Mitä suurempi luokka, sitä tiiviimpien piti ilmanvaihtokanavien olla.

Tiiviy.luokka	Sallittu vuotoilma q_{VIA} ($\text{dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$)
A	$0,027 \times p_s^{0,65}$
B	$0,009 \times p_s^{0,65}$
C	$0,003 \times p_s^{0,65}$
D	$0,001 \times p_s^{0,65}$
E	$0,0003 \times p_s^{0,65}$

eli

$$q_{VIA} = k p_s^{0,65}$$

jossa

q_{VIA} on suurin sallittu vuotoilma $\text{dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$,

k on tiiviy.luokkakohtainen kerroin,

p_s on koepaine. (18, s. 12)

Kyseinen kaava julkaistiin alun perin vuonna 1988 standardissa SFS-4699, *Ilmastointilaitosten tiiviy.svaatimukset*. Kanaviston katsottiin olevan riittävän tiivis, kun se oli tiiviy.deltään luokkaa B. Menetelmän ongelmana oli kanaviston vaippapinta-alan laskeminen, joka koettiin työlääksi, erityisesti suuremmissa rakennuksissa.

5.4.4 Uudistunut ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuusvaatimus

Sisäasiainministeriö vaati jo vuonna 1978 ilmanvaihtojärjestelmältä energiatehokkuutta. Silloin energiatehokkuus ei kuitenkaan saanut haitata sisäilman laatua. Vuoden 2003 D2:ssa on ilmanvaihtojärjestelmän käyttämään energiaan kiinnitetty erityistä huomiota. Siinä määrättiin, että koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho, myös nimeltään SFP-luku (Specific Fan Power), saa olla enintään 2,5 kW ilmakuutiota kohti sekunnissa. Mikäli käytettiin vain koneellista poistoilmajärjestelmää, ominaissähköteho sai vastaavasti olla enintään 1,0 kW ilmakuutiota kohti sekunnissa. SFP-luku antoi siis arvon sille, miten paljon sähköä rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä tarvitsee yhden ilmakuution siirtämiseen sekunnissa. (18, s. 17)

Asialla on merkitystä. Hyvin suunniteltu ja toimiva ilmanvaihtojärjestelmä voi kuluttaa vain puolet siitä sähköstä, jonka huonosti toteutettu järjestelmä kuluttaa, vaikka siirrettävät ilmamäärät ja lämpötilat olisivat samat.

SFP-luku oli ennen kaikkea tarkoitettu ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun apuvälineeksi. Asettamalla hyväksyttävä tavoitetaso SFP-luvulle, voitiin kanaviston oikealla suunnittelulla ja laitevalinnoilla luoda taloudellisesti toimiva kokonaisuus energiaa tuottaamatta.

Vuoden 2003 määräyskokoelman osa D2 vaati myös, että poistoilmasta oli otettava talteen lämpömäärä, mikä vastasi vähintään 30 prosenttia ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämmöstä. Vuonna 2010 nostettiin ilmanvaihdosta otettava lämpöenergian määrä 45 prosenttiin. (18, s. 17.) Vaihtoehtoisesti sai pienentää lämmityksen vaadittavaa energiatarvetta parantamalla rakennuksen vaipan lämmöneristystä. Tämän menetelmän käytöstä piti kuitenkin laatia selvitys. Tämä määräys pakotti käytännössä lämmön talteenottolaitteiston asentamisen uusiin rakennuksiin.

Ilmanvaihto oli erityisesti asuinrakennuksissa pääosin ratkaistu järjestelmällä, missä lämmin poistoilma puhallettiin suoraan rakennuksesta ulos, ja tuloilma otettiin lämmitettävästä ulkoseinässä olevasta tuloilmaelimestä.

6 D2 2012

Ympäristöministeriö säätö 30. päivänä maaliskuuta 2011 päivitetyn version rakentamismääräyskokoelman osasta D2. Määräyskokoelman osa tuli voimaan 1. päivänä heinäkuuta 2012 ja on voimassa edelleen. Nyt voimassa oleva D2 ei sisällä merkittäviä muutoksia edelliseen versioon. Poikkeuksena tähän voidaan pitää energiatehokkuusvaatimusten siirtämistä omaan määräyskokoelman osaan D3. (20, s. 2.) Asiantuntijat keskustelevalle nyt, oliko tämä järkevä toimenpide, sillä energia-asiat liittyvät keskeisesti rakennusten ilmanvaihtosuunnitteluun. Toisaalta, muutos tehtiin, koska haluttiin keskittää kaikki rakentamiseen liittyvät energiamääräykset yhteen uuteen määräyskokoelman osaan. (26, s. 2.)

7 Tulevaisuuden näkymiä

Sisäilmakysymykset nousevat jatkuvasti yhä tärkeämmiksi Suomessa ja EU:n alueella. Tiukentuneet energiatehokkuusvaatimukset ja lähes nollaenergiatalot ovat herättäneet pelkoa ja huolta sisäilmaston huononemisesta ja terveyshaittojen lisääntymisestä.

Vuonna 2013 maankäyttö- ja rakennuslakiin tuli muutos. Tämän muutoksen perusteella ympäristöministeriö voi jatkossa antaa rakentamista koskevia määräyksiä asetuksilla, jotka julkaistaan säädöskokoelmassa.

Rakentamista koskevat vaatimukset voidaan antaa asetuksissa uudisrakentamiselle, korjausrakentamiselle, ja nyt myös rakennustuotteille. Ohjeita nämä asetukset eivät sisällä. Ympäristöministeriöllä on kuitenkin mahdollisuus antaa yleisen toimivaltuuden nojalla määräyksiä selventäviä ohjeita.

Edellä mainitun johdosta rakentamismääräykset on uusittava uuden lainsäädännön mukaisesti vuoden 2017 loppuun mennessä. Aiempia määräyksiä sovelletaan luonnollisesti siihen asti, kunnes uudet asetukset on annettu.

Työ D2:n uudistamiseksi on aloitettu. Keskeinen osa uudistustyötä on ollut käytännön kokemusten kerääminen Suomen LVI-liiton jäseniltä ja muilta asiantuntijoilta. Luonnollisesti mielipiteitä siitä, kuinka hyvin nykyinen D2 on toiminut, tai mitä siinä pitäisi uudistaa, on laidasta laitaan. Laajalti koetaan kuitenkin, että nykyinen D2 on hyvin kirjoitettu, selkeä kokonaisuus. Jäljempänä on poimintoja asiantuntijoiden lausunnoista koskien määräyskokoelman osa D2:n uudistamista.

Ilmanvaihtoalalla on laajalti yksimielisyys siitä, että ilmanvaihtoa mitoitetaan nyky määräyksillä väärin perustein. D2 antaa kyllä mahdollisuuden mitoittaa ilmavirrat joko henkilömäärän, huoneen pinta-alan mukaan tai huonekohtaisesti. Kuitenkin, tällä hetkellä mm. asuntojen ilmanvaihdon suunnittelun perustana käytetään liikaa poistoilmavirtoihin perustuvaa mitoitusta. Erityisesti pienissä asunnoissa tämä johtaa helposti jopa puoli-toistakertaiseen ilmanvaihtoon. Hyvin monet asiantuntijat valittavat liian suurista ilmavirroista.

Kysymys kuuluu, olisiko parempi mitoittaa ilmanvaihto tiloissa olevan henkilölukumäärän mukaan, jolloin kokonaisilmanvaihto ja energiankulutus pienenisivät? Vai pitäisikö ilmanvaihto mitoittaa sen mukaan, miten sitä tarvitaan? Onko järkevää pitää ilmanvaihto täydellä teholla toiminnassa, vaikka tiloissa ei oleskella? Tilan olosuhteiden jatkuva tarkkaileminen voisi olla tärkeämpää. Ilmanvaihtoa voitaisiin hallita läsnäolotunnistuksen tai esim. ilman hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Asuntoihin voitaisiin asentaa ”koti-na/poissa” – kytkin, jolla voitaisiin säätää ilmanvaihtoa todellisen tarpeen mukaan. Sa-

malla pitäisi miettiä tehostetun ilmanvaihdon käyttöä liesituuletinta käytettäessä tai takkaa poltettaessa. (27, s. 25.)

Liesituulettimen ilmavirtaa 20 litraa sekunnissa pidetään liian alhaisena. Kysymys kuuluu, pitäisikö liesikuvun ilmavirtaa nostaa esim. 25 litraan sekunnissa. Italiassa keittiön poistoilma on yli 40 litraa sekunnissa. (27, s. 17.) Takana korvausilma-asiaa ei ole nykyisessä D2:ssa huomioitu lainkaan. Vaikka ns. takkakytkin on keksitty, asiaa voisi huomioida määräystasolla.

Sisäympäristö on käsitteenä laaja, ja siihen vaikuttavat monet suunnittelualat. Sisäympäristöön vaikuttavat ilmanvaihdon lisäksi mm. lämpöolot, akustiikka, valaistus ja rakenteet. Tämän takia ympäristöministeriössä harkitaan erillisen sisäilma-asetuksen antamista. Työ sisäympäristön hyväksi on haasteellista, sillä sosiaali- ja terveysministeriö ja työsuojeluhallinto ovat myös antaneet sisäilmastoa koskevia säädöksiä. Eri viranomaisten määräykset eivät saa olla ristiriidassa keskenään, vaan niiden tulee tukea ja täydentää toinen toisiaan. (27, s. 17.)

Tulevaisuudessa, annettaessa määräyksiä sisäilmaston suhteen, pitää myös miettiä miten niitä valvotaan. Määräyksiä voidaan antaa vain sellaisista sisäilmatekijöistä, joita voidaan myös kohtuullisin kustannuksin luotettavasti mitata. Melko yksinkertaisesti pystymme nykypäivänä mittamaan esim. lämpötiloja ja ilman liikkeitä. Mutta miten mitaamme ilman laadun? Tällä hetkellä ilman laadun mittaamiselle ei ole olemassa mitattavissa olevaa indikaattoria. Ilman laatu on monen tekijän summa, sisältäen myös vaikeammin määriteltävissä olevia tekijöitä. Nämä voivat liittyä esim. huoneen akustiikkaan tai huoneen valon laatuun. Näiden sisäilmastotekijöiden osalta on tyydyttävä toisenlaiseen määrittelyyn esim. rakennusmateriaalin puhtauden tai ilmanvaihdon toiminnan kautta. (27, s. 17.)

Sisäilmastoon vaikuttavat myös huoneilmassa olevat epäpuhtaudet. Eri aineiden pitoisuuksiin on ehdotettu muutoksia. Formaldehydin raja-arvo on tällä hetkellä $0,35 \text{ mg/m}^3$ ilmaa. Asiantuntijat ehdottavatkin raja-arvon laskemista $0,30 \text{ mg/m}^3$ ilmaa. Ehdotus on kannatettava, sillä formaldehydi on myrkyllinen, syöpää aiheuttava kaasu, joka ei kuulu sisäilmaan. Toinen kaasu, jonka raja-arvoon on suunnitteilla tiukennusta, on radon. Nykyistä arvoa 200 Bq/m^3 pidetään liian korkeana, joten uudeksi raja-arvoksi on ehdotettu 100 Bq/m^3 . (27, s. 20.)

Rakentamismääräyskokoelman osat ovat perinteisesti koskeneet uutta rakentamista. Olisiko kuitenkin syytä antaa ohjeita ja määräyksiä myös vanhaa korjattaessa eli korjausrakentamisessa? Ilmanvaihdon korjauksia koskevia periaatteita on jo annettu rakennusten energiakorjauksia koskevassa asetuksessa, mutta niitä voitaisiin antaa myös määräyskokoelman eri osissa.

Vanhat, sotien jälkeen rakennetut, kerrostalot ovat jo pitkään työllistäneet niin putkimiehiä kuin muita rakentamisen ammattilaisia. Tähän rakennuskantaan ollaan tekemässä monenlaisia korjauksia ja samalla myös muutoksia käytön suhteen. Tämän takia on tärkeää erottaa erilaiset korjaustoimenpiteet toisistaan. Korjataanko vanhaa, vai uusitaanko vanha uudella tekniikalla? Muuttuuko kenties korjauksen yhteydessä tilan alkuperäinen käyttötarkoitus? Eri saneerauksille pitää asiantuntijoiden mukaan olla selkeät ja johdonmukaiset määräykset. (27, s. 21.) Keskeisenä ajatuksena korjaustoimenpiteiden osalta tulisi olla, että vaatimukset eivät saisi olla liian tiukkoja ja kalliita toteuttaa, jolloin ne voisivat estää pienetkin parannukset vanhoihin rakennuksiin.

Yksi korjausrakentamisen haasteista on korvausilman sisäänotto, jos korjauksessa muutetaan, asennetaan tai lisätään koneellinen poisto tai suurennetaan vanhan järjestelmän ilmapirtoja. Kerrostaloissa, joissa on vain koneellinen poisto, tuodaan korvausilma huoneeseen lämmittämättä, joko seinästä tai ikkunassa olevasta venttiilistä. Energian säästämiseksi pitäisi raitisilmaa pystyä lämmittämään jäteilmalla. Pitäisikö huoneistoihin asentaa LTO energian säästämiseksi? Erityisesti putkiremontin yhteydessä laajempi ilmanvaihdon uudistaminen voisi olla perusteltua.

Toinen tärkeä kysymys on jäteilman poisjohtaminen. Erityisesti korjausrakentamisessa saattaa olla erittäin vaikeaa, jopa mahdotonta, viedä poistoilma vesikatolle. Talon kantavat rakenteet tai yksinkertaisesti tarvittavan tilan puuttuminen voivat estää poistoilmakanavan vetämisen talon läpi. Ongelmaan pitäisi saada hyväksyttäviä, vaihtoehtoisia ratkaisuja, kuten poistoilman puhdistaminen. Näin menetellessä jäteilma puhdistuisi, se muuttuisi vähemmän haitalliseksi, ja voitaisiin johtaa lievemmin rajoituksen ulos, myös seinästä. (27, s. 25.)

Rakennukset suunnitellaan tällä hetkellä alipaineisiksi. Tämä tehdään, koska halutaan välttyä kosteusvaurioilta rakenteissa ja mikrobien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Ajatuksena on, että pieni osa tuloilmasta tulee vuotoilmana rakenteiden läpi ja edesauttaa rakenteiden pysymisen kuivana. Alipaine ei saa yleensä olla suurempi kuin 30 Pa. Ny-

kyistä määräystä rakennuksen alipaineisuuden rajasta pidetään kuitenkin hyvin korkeana. Itse asiassa koko rakennuksen alipaineistaminen on kyseenalaistettu ja onkin ehdotettu, että rakennus suunniteltaisiin tasapainoon ulkoilman kanssa tai hyvin lievästi alipaineiseksi. Näin menettelemällä estettäisiin rakenteiden epäpuhtauksien pääsy huoneilmaan. Rakennukset voitaisiin jopa varustaa paine-erohälyttimellä, paineen-tasausjärjestelmällä, tai painetta tasaavalla venttiilillä, jotta ulko- ja sisäilman välinen paine-ero ei kasvaisi liian suureksi. On todettu, että ”jos rakennuksessa on liian suuri alipaine, rakenteiden liitoskohtien kautta kulkevan korvausilman mukana sisäilmaan tulee mikrobeja”. (27, s. 24.)

Uusi D2 julkaistaan ennen vuoden 2017 loppua. Minkälainen siitä muodostuu, on vielä jatkoselvitysten alla. Nähtäväksi jää, saammeko sekä sisäilmastolle että ilmanvaihdolle päivitettyt omat määräykset. Tuleeko myös uudistettuun määräyskokoelman osaan ohjeita ja ohjeille perustelut? Selvää lienee kuitenkin, että uudistettu D2 tulee pääosin, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta, noudattelemaan vuoden 2012 määräyksiä.

Lähteet

- 1 Rakennusten ilmanvaihto. 1976. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: sisäasiainministeriö
- 2 Rakennusten ilmanvaihto. 1978. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: sisäasiainministeriö
- 3 Palonen, Jari., Virtanen, Vesa., Seppänen, Olli. 2000. Asuntoilmanvaihdon kehitys- ja tutkimustarpeet. Espoo. Teknillinen korkeakoulu.
- 4 Ilveskoski, Olli. 2014. Johdatus korjausrakentamiseen 2014. Hämeen ammatti-korkeakoulu.
- 5 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 1987. Suomen rakentamismääräyskoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö
- 6 Kodin hyvä sisäilma. 04/2014 Talotekniikkateollisuus ry. 2014. Tietoisku 01.
- 7 Formaldehydi. 2016. Verkkodokumentti. Hengitysliitto.
<http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhautudet/formaldehydi>. Luettu 14.1.2016
- 8 Asumisterveysohje. 2003. Helsinki: sosiaali- ja terveysministeriö.
- 9 Säteilysuojeluohje. 2016. Verkkodokumentti.
<http://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-aiheuttaa-keuhkosyopaa>. Luettu 27.3.2016
- 10 Rikkidioksidi. Ilmanlaatuportaali. 2016. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/komponentit.html> Luettu 27.3.2016
- 11 Typpidioksidi. Ilmanlaatuportaali. 2016. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/no2.html> Luettu 15.2.2016
- 12 Hiilimonoksidi. Ilmanlaatuportaali. 2016. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/co.html> Luettu 15.2.2016
- 13 Hiilimonoksidi eli häkä (CO). 2016. Verkkodokumentti. Hengitysliitto.
<http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ulkoilma/ilmansaasteet/hiilimonoksidi-eli-haka-co>. Luettu 12.2.2016
- 14 Hiukkaset. 2016. Verkkodokumentti. Hengitysliitto.
<http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ulkoilma/ilmansaasteet/hiukkaset>. Luettu 12.2.2016
- 15 Kukkonen, Esko. 2016. Sisäilmautiset. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry.
www.sisailmautiset.fi/?p=482i. Luettu 13.2.2016
- 16 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. Suomen rakentamismääräyskoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö

- 17 Kärki, Satu & Karjalainen, Sami. 1999. Ilmastointijärjestelmän vikadiagnostiikka. Menetelmät ja sovellukset. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo
- 18 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö
- 19 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö
- 20 Toivonen, Minna. 2003. Energiankulutus aisoihin uusilla rakentamismääräyksillä. Fläkt Woods Oy, asiakaslehti, 3.4.2003, s. 8–11.
- 21 Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat. 2002. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa A2. Helsinki: ympäristöministeriö
- 22 Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) 120§
- 23 Rakennuttajan käsikirja. 1970. Porvoo. WSOY
- 24 Rakennustyön valvonta. 2000. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa A1. Helsinki: Ympäristöministeriö
- 25 Sisäilmaluokitus 2008. Ohjekortti LVI 05-10440. Helsinki. Rakennustietosäätiö RTS.
- 26 Kalliomäki, Pekka. 2011. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Muistio. Helsinki: ympäristöministeriö
- 27 Seppänen, Olli., Railio, Jorma., Strand, Tiina. 2014. D2-uusintatarveselvitys. Loppuraportti. Helsinki. Ympäristöministeriö & Suomen LVI-liitto