

# “HINGAV” PUITSEIN RUUMIDE SISEKLIIMA MÕJUTAJANA

Seina hingamine on andnud ja annab edaspidigi kõneainet. On mitmeid vastakaid arvamusi ja paraku ka niisuguseid, kus absolutiseeritakse kindlat materjali, enamasti puitu. Ent hoonet tuleb siiski vaadata tervikuna. Alljärgnev kirjutus aitab teil ehk mõningatele küsimustele vastuse leida.

**P**uitkarkass-seinas kasutatakse aurutõkkeket, mis takistab niiskuse liikumist läbi seinaga ja tagab piirde õhutiheduse. Viimasel ajal on hakatud liiga umbseid, nn konservmajade kritiseerima. Samuti on maailm pöördumas ökoloogiliste lahenduste poole ja üha rohkem räägitakse “hingavast” seinast. Kile aga teatavasti pole ökoloogiline ega ka “hingav”.

Muutunud arusaam kvaliteetsest elukeskkonnast on teinud ka tähelepanu ruumide sisekliima suhtes. Inimene sööb ööpäevas keskmiselt liitri jagu toitu, joob ligi kaks liitrit vett ja hingab sisse vähemalt 15 000 liitrit õhku, veetes seejuures keskmiselt 70...90% ajast siseruumides. Paljud vanurid või haiged on praktiliselt kogu aeg toas. Seetõttu on siseõhu kvaliteedil inimese tervise seisukohalt väga oluline roll.

Seina hingamise alla mõeldakse tavaliselt toa õhu iseeneslikku puhastumist läbi seinaga. Õhk puhastub ja värskendub difusiooni teel, ilma et tarvitseks ise liikuda läbi seinaga, või ventilatsiooni teel. Üldiselt piisab õhu puhastamiseks sellest, kui sellest eralduvad väljahingatud reogaasid ja veeaur ning välisõhust tuleb hapnikku juurde. Sellist gaaside vahetust võimaldabki seinaga kaudu toimuv difusioon.

Inimese poolt ruumi eritatud süsihappegaasi ja veeaur tõstavad nende kontsentratsiooni õhus kõrgemale, kui see on puhtas välisõhus. Külmem

**Tabel 1. Süsihappegaasi sisalduse väärtused**

CO <sub>2</sub> sisaldus, [ppm] (miljondik osa)	Iseloomustus
400	Normaalse välisõhu süsihappegaasi sisaldus
800	Maksimaalne sisaldus, kui ruumide ventilatsiooni juhtimiseks kasutatakse süsihappegaasi sisaldust
1000	Hea siseõhk. Klass A vastavalt EPN 12.2-le
1250	Normaalne siseõhk. Klass B vastavalt EPN 12.2-le
1500	Rahuldav siseõhk. Klass C vastavalt EPN 12.2-le
2500	Hingatava siseõhu maksimaalne süsihappegaasi sisaldus
10 000...15 000	=10...15%. Eluohulik. Sõiduauto heitgaasis oleva süsihappegaasi sisaldus

välisõhk on enamasti ka absoluutselt kuivem, mistõttu sisaldab vähem veeauru kui toaõhk. Suurem kontsentratsioon tekitab suurema osarõhu, mis toob kaasa toaõhu difusiooni liikumise läbi seinaga. Veeaur, süsihappegaas ja teised reogaasid liiguvad välja ning hapnik sisse.

Difusioon ei ole õhu liikumise ja see võib toimuda ka läbi õhutiheda piirde. Seetõttu on difusioon õhu värskendamisel näiliselt väga võimas ja soodne tegur. Esiteks: kontsentratsioonide vahed on suured. Ja teiseks: difusioon ei vaheta õhku tarbetult, vaid ainult neid osiseid, mida õhu puhastamiseks kõigepealt on vaja. Reogaase sisaldub tarvitatud õhus vaid mõni liiter kuupmeetri kohta ja tänu sellele on toaõhu difusioonpu-

hastus seotud vaid tühise energiakaoga.

Väike difusioonitakistus tundub olevat puitelamute soo-

vitumaid omadusi, sest hoonet ventileerimata (või väiksema ventilatsioonikuluga) värskendab difusioon toaõhku pidevalt, nõudmata seejuures mingitki tehnohooldust.

## Siseõhu reostumine

Siseõhku reostavad peamiselt:

- inimkehast erituvad gaasid (veeaur, süsihappegaas, higi- ja muud lõhnad);
- inimtegevus (pesupesemine, toiduvalmistamine, suitsetamine, ruumide lõhnastamine või niisutamine);
- ehitusmaterjalid ja sisustus (formaldehüüdid, tolm);
- maapind (radoon, pinnase-niiskus);
- koduloomad;
- välisõhk.

Süsihappegaas on peamine inimese poolt tekitatav reo-

**Tabel 2. Erinevate materjalide süsihappegaasi takistused, Z<sub>v</sub>**

Materjal	Paksus, mm	Süsihappegaasi takistus, Z <sub>v</sub> [x 10 <sup>3</sup> s/m]
Kuusevineer	9	1950
Puitlaud	13	320
Puitlaastplaat	12	74
Saepuru, termoliit	150	15
Mineraalvill	150	11
Kipsplaat	13	5,8
Pehme puitkiudplaat	12	4,3
Matt lateksvärv	–	4,0
Ehituspapp	–	3,4
Mineraalvillast tuuletõkkeplaat	30	3,2
Vinüültapeet	–	3,0
Pabertapeet	–	1,5

gaas. See tekib ainevahetusprotsessis: inimene hingab hapnikku ja eritab süsihappegaasi.

Täiskasvanud inimene eritab tunnis keskmiselt 40...100 grammi higi ja 20...40 liitrit süsihappegaasi. Vannis käies tekib veeauru keskmiselt 700 grammi tunnis ja duši all peses 2600 grammi tunnis. Siseõhku niisutavad ka pesu kuivatamine, põrandate pesemine, toataimede kastmine jne. Puhtas välisõhus on süsihappegaasi 0,4 l/m<sup>3</sup>, veeauru suvel ~12 g/m<sup>3</sup> ja talvel ~3 g/m<sup>3</sup>.

Süsihappegaasi sisaldust võib käsitada ka peamise õhu kvaliteedi näitajana, millest lähtuvalt juhtida näiteks ruumide ventileerimise intensiivsust. Plussiks on seegi, et süsihappegaasi kontsentratsiooni on lihtsam mõõta kui teiste inimtegevusest tekkivate reo-gaaside ja lõhnade oma. Siseõhu süsihappegaasi sisaldusele on antud erinevates siseõhu kvaliteeti käsitlevates allikates erinevaid väärtusi (vt tabel 1).

Vastavalt Eesti projekteerimismismnormile EPN 12.2 (Sisekliima) peab minimaalne õhuvahetus olema A-klassi ruumides 10 l/s inimese kohta või 1,0 l/s põranda ruutmeetri

kohta, B-klassi kvaliteeditasemel 7 l/s inimese kohta või 0,7 l/s põranda ruutmeetri kohta ning klassi C puhul 5 l/s inimese kohta või 0,5 l/s põranda ruutmeetri kohta. Bürooruumides on ventileerimise võimsus kaks korda suurem.

Võttes õhu puhtuse iseloomustajaks süsihappegaasi sisaldus ja lubatavaks piiriks lugeda üks liiter CO<sub>2</sub> õhu kuupmeetri kohta (1000 ppm), siis kõrvaldab iga kuupmeeter välisõhuga (400 ppm) vahetatud toaõhku  $1 - 0,4 = 0,6$  l süsihappegaasi. Värske õhu tarvidus inimese kohta on sel juhul  $20 : 0,6 = 33$  m<sup>3</sup>/h. Järelikult, kui ruumis on inimese kohta vähemalt 33 m<sup>3</sup> õhku, siis piisab ühekordsest õhuvahetusest tunnis. See on natuke nõrgem EPN 12.2 klassi A tasemest.

Ehitusmaterjalidel on analoogselt veeauru juhtivusele ka omadus juhtida süsihappegaasi. Tabelis 2 on esitatud mõningate materjalide süsihappegaasi takistused. Neile andmetele tuginedes võib välja tuua mõned seigad.

- Puidul ja puidul põhinevatel ehitusplaatidel kui homogeensetel materjalidel on väga suur süsihappe-

gaasi takistus. Puidu hingamine põhineb peamiselt vuukide ja liitekohtade õhu- ja gaasi juhtivusel.

- Vinüül- ja tavalise tapeedi süsihappegaasi takistuste vahe on ligi kahekordne. Kui aga vaadelda tapeetide takistust kogu piirde suhtes, muutub see erinevus tühiseks.
- Sõltuvalt valmistaja-poolsest tootmisprotsessi erinevusest võivad samadel ehitusmaterjalidel nende omadused kõikuda.

### Ruumide näiline õhuvahetus erinevate piirete ja ruumide suuruste korral

Näilise õhuvahetuse all võiks ette kujutada süsihappegaasi juhtivusest arvatavat kordajat. See kajastab õhuvahetust, mis viiks siseõhust välja sama palju süsihappegaasi, kui liigub läbi piirde difusiooni teel.

Valides hingavaks piirdeks sellise, mille sisepinnas on kaks kihti kipsplaati 2 x 13 mm ja pabertapeet, soojustu-

seks 150 mm saepuru ning väliskihiks kaks kihti puitkiudplaati 2 x 12 mm, saame arvutada näilise õhuvahetuse nelja erineva ruumi kohta. Kõikidel ruumidel on aknad-ukseed; põrand ja katus on arvestatud umbseteks (ei juhi süsihappegaasi).

Tulemused (vt tabel 3) saame Tampere Tehnikaülikoolis T. Niemilä, J. Vinha, R. Lindbergi poolt läbi viidud uurimistööst<sup>1</sup>. Selgub, et tuba 1, millel pole ühtegi akent ega ust, on ruumina kõige "hingavam" – õhuvahetus 0,17...0,18 l/h. Tegelikult aga sellist elutuba ei eksisteeri. Muude arvutatud ruumide õhuvahetuse kordajad jäävad tunduvalt väiksemateks. Seega ei ole õhu puhastamine ainult difusiooni teel nõutavaks õhuvahetuseks piisav.

### Magamistoa siseõhu kvaliteedi võrdlus ventilatsiooni erinevate võimsuste korral

Väikemaja siseõhu kvaliteeti võiks hinnata magamistoa õise

**Tabel 3. Näilise õhuvahetuse väärtused erinevates ruumides erinevate piirete korral**

Ruum	Näiline õhuvahetus 1/h
Tuba 1 suurus: 3 x 4 x 2,7 m kõik seinad on ilma avadeta ja hingavad	0,17...0,18
Tuba 2 suurus: 3 x 4 x 2,7 m ühes seinas on aken (2,7 m <sup>2</sup> ), kõik seinad on hingavad	0,07...0,08
Maja 1 suurus: 10 x 12 x 2,7 m kõik seinad on ilma avadeta ja hingavad	0,05...0,06
Maja 2 suurus: 10 x 12 x 2,7 m 15% seinapindalast moodustavad aknad-ukseed ja kõik seinad on hingavad	0,04...0,05

**Tabel 4. Erinevad magamistoa hingavad piirded ja nende süsihappegaasi takistused**

Piire	Materjalid	Süsihappegaasi takistus [x 10 <sup>3</sup> s/m]
Välissein	pabertapeet	1,3
	kipsplaat 2 x 13 mm	6,9
	ehituspapp	3,3
	saepurusoojustus 150 mm	15,1
	pehme puitkiudplaati 2 x 12 mm	4,1
<b>kokku</b>		30,7
Vahesein	pabertapeet	1,3
	kipsplaat 2 x 13 mm	6,9
	saepurusoojustus 100 mm	9,9
	kipsplaat 2 x 13 mm	6,9
	pabertapeet	1,3
<b>kokku</b>		26,2
Katuslagi	lateksvärv	4,1
	kipsplaat 2 x 13 mm	6,9
	ehituspapp	3,3
	saepurusoojustus 300 mm	30,2
	<b>kokku</b>	

**Tabel 5. Magamistoa süsihappegaasi sisaldus 8 tunni möödudes erinevate õhuvahetuskordade korral**

Õhu- vahetus 1/h	Süsihappegaasi sisaldus		Märkused
	Hingavad piirded	Umbsed piirded	
0,3	2060	2775	Tüüpiline ilma ventilatsioonita magamistuba
0,5	1562	1905	Minimaalne nõuetekohane õhuvahetus
0,9	1104	1221	Õhuvahetus arvatuna inimeste arvu järgi magamistoa
1,2	935	1000	Hea siseõhk. Klass A vastavalt EPN 12.2-le
1,7	775	805	Õhu süsihappegaasi sisaldus, kui ruumideventilatsiooni juhtimiseks kasutatakse süsihappegaasi sisaldust

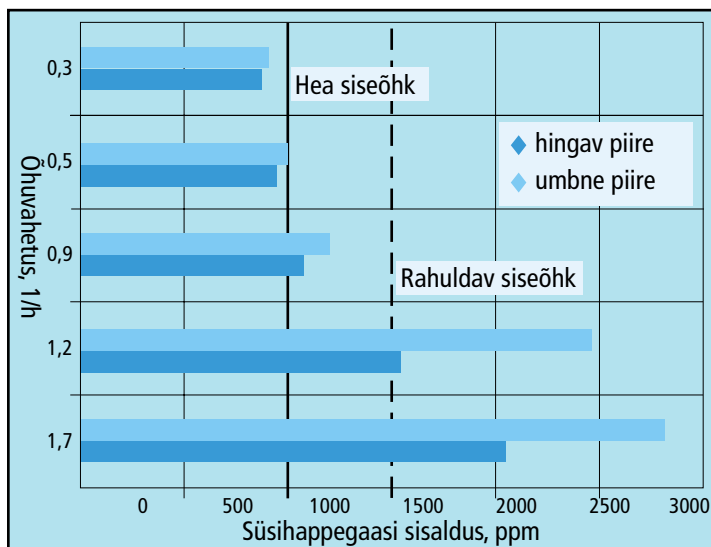
sisekliima järgi, kui aknad-ukssed on suletud ja ruumis on püsiv maksimaalne saastetootlus. Sageli vähendatakse ööseks ka ventilatsiooni võimsust. Piireteks on valitud võimalikult hingavad ehk süsihappegaasi juhtivad materjalid. Arvutusaeg on kaheksa tundi, magamistoa suurus 3 x 4 x 2,7 m. Ruumis magab kaks inimest, kumbki toodab süsihappegaasi 215 ml/min. Toa uks (1,6 m<sup>2</sup>) ja aken (2,0 m<sup>2</sup>) on suletud. Välisõhu süsihappegaasi sisaldus on 350 ppm, maja teistes siseruumides 600 ppm.

Arvutuskeemis (tabel 4) on tehtud mõned lihtsustused:

- ei arvestata materjalide pooridesse akumulereuvat süsihappegaasi;
- ei arvestata ukse- ja aknapragude kaudu toimuvat passiivset õhuvahetust;
- kuna õhust raskem süsihappegaas vajub ruumi alaossa, on läbi katuse toimuva süsihappegaasi difusioon mõnevõrra väiksem kui läbi seina või läbi põranda;
- ei arvestata välis- ja siseõhu temperatuuri ning niiskuse muutusi, mis muudavad gaaside difusioonikiirust.

Tabelis 5 ja joonisel 1 esitatud tulemused on saadud, võrreldes hingavate piiretega magamistoa süsihappegaasi sisaldust umbsete piiretega magamistoa süsihappegaasi sisaldusega erinevate ventilatsiooni õhuvahetuse kordade puhul. Näeme, et hea siseõhu kvaliteedi korral (1000 ppm) on difusiooni teel õhu puhastumise osakaal vaid ~5%. Suurem ehk ~30% on difusiooni mõju kõrgetel süsihappegaasi sisaldustel (3000 ppm). See aga ei vasta mingisugustelegi

Joonis 1. Magamistoa süsihappegaasi sisaldus 8 tunni möödudes erinevate õhuvahetuskordade juures



siseõhu normidele.

## Kokkuvõte

- Hingavate piirete puhul ventilatsioonivajadus ei vähene. Need aitavad vaid alandada lokaalsete, kõrge süsihappegaasi kontsentratsiooniga kollete mõju.
- Siseõhu süsihappegaasi sisaldus on hingavate piiretega ruumis väiksem. Kui arvestada ventilatsiooni- või sisekliima normides toodud nõudeid õhuvahetusele ja süsihappegaasi sisaldusele, jääb hingavate piirete mõju sisekliima kvaliteedile väikeseks: <15%. Difusiooni kasulik mõju muutub oluliselt suurte süsihappegaasi sisalduste korral, kuna difusiooni tekitav gaaside kontsentratsioonide erinevus on siis suurem. Nii kõrge süsihappegaasi sisaldusega ruumis, kus süsihappegaasi difusioonil on oluline mõju ruumi sisekliimale, aga ei tunne inimene ennast hästi ja ta ei saa seal pikaajaliselt viibida.
- Ei tohi segamini ajada piirete õhutihedust ja piirete difusioonitakistust. Piirete hingavuse all tuleb mõista madala difusioonitakistusega piirdeid, mitte väikese

õhutihedusega piirdeid.

- Kuna niiskustehniliselt on aurutõkketa sein keerukam lahendus (kuid mitte tehniliselt võimatu), tuleb hingavaid seina kavandada eriti hoolikalt. Veeauru kondenseerumine võib esineda nii tuuletõkkeplaadil kui ka piirde sisemisel poolel. Samuti tuleb erilist tähelepanu pöörata piirde välisvoodri tuulutusele.
- Hingava seina konstruktsioon peab olema niisugune, et see tagaks gaaside juhtivuse kogu eluea jooksul.
- Aurutõkket ei saa võtta ka kui absoluutset päästevõimet. Vales kohas ja valesti paigutatuna tekib loodetud kasu asemel palju rohkem kahju.
- Kogu siseõhu kvaliteeti hinnates tuleb märkida, et süsihappegaasi sisaldus on vaid üks indikaator. Arvestama peab ka kõiki muid tegureid, enne kui rääkida hingavate seinte positiivsest mõjust ruumide sisekliimale.

## Kasulikku kirjandust

- <sup>1</sup> T. Niemilä, J. Vinha, R. Lindberg. "Puukuitueristeisen seinärakenteen hengitävyyds", Tampere Teknillinen Korkeakoulu 1996, 36 + 9 lk
- J. Nieminin. "Höyrynsulun tarve puuseinässä". Espoo 1989, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 735, 140 + 23 lk
- J. Nieminin. "Höyrysuluton puuseinärakenne". Espoo 1987, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 735, 140 + 23 lk
- E. Kokko, T. Ojanen, M. Salonvaara, A. Huokka, H. Viitanan. "Puurakenteiden kosteustekninen toiminta". Espoo 1999, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 1991, 160 lk