

EKVÜ jätkukoolitus praktiseerivale insenerile
**OLEMASOLEVATE HOONETE INFILTRATSIOON JA
SELLE MÕJU ENERGIATÕHUSUSELE**
Tallinnas, 3. septembril 2013
Tiit Pukk / Mart Jõgioja

SISUKORD

- Hoonepiirete õhupidavus
- Terminid ja määratlused
- Seadusandlus, juhendmaterjalid
- Õhupidavuse mõõtmine
- Infiltratsiooni õhuvooluhulga määramine
- Kokkuvõte

HOONEPIIRETE ÕHUPIDAVUS

Hoonepiirete ebapiisav õhupidavus väljendub kontrollimatus õhu voolus läbi piirde. Selle juures on suur mõju pragudel ja muudel ebatihedustel. Ka materjalide omadused on muidugi määravad. Näiteks tihe ehituspaber on õigesti paigaldatuna praktiliselt õhutihe, tavalise tellisvoodri õhuläbilaskvus on $12 \cdot 10^{-6} \text{m}^3/\text{m}^2\text{sPa}$, täissulundiga laudvoodril $150 \cdot 10^{-6} \text{m}^3/\text{m}^2\text{sPa}$, poolsulundiga laudvoodril $900 \cdot 10^{-6} \text{m}^3/\text{m}^2\text{sPa}$, kivivillaplaatidel $150 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 10^{-6} \text{m}^3/\text{m}^2\text{sPa}$. Kasutatakse ka selle pöördarvu – õhutakistust.

Õhu infiltratsioon ja selle mõju sõltub õhupidavusest, lekkekohtade paiknemisest, õhu rõhkude erinevusest kahel pool piiret, kasutatavate materjalide omadustest ja kliimatingimustest. Õhu rõhkude erinevust kahel pool piiret põhjustavad tuul, temperatuuride erinevus või ventilatsiooni õhuhulkade erinevus.

Hoonete õhupidavus mõjutab otseselt nende kütte- ja jahutuskulusid. Piirete soojajuhtivuse vähendamise juures suurenevad suhtelised energiakulud õhuvahetusele (ventilatsioon ja õhulekked). Väikese õhupidavusega piiretega hoonetel on piirete õhulekkekohtade kaudu toimuv õhuvahetus samas suurusjärgus ventilatsiooniseadmete poolt vahetatava õhuhulgaga. Nende hoonete energia erikulu küttele-jahutusele võib olla kuni kaks korda suurem õhupidavate piiretega hoonete vastava energia erikuluga võrreldes.

HOONEPIIRETE ÕHUPIDAVUS

PIIRETE EBAPIISAVAT ÕHUPIDAVUST EI SAA VÕTTA KUI LOOMULIKKU VENTILATSIOONI !

Hoonepiirete õhupidavus pole ainult energiatõhususe probleem:

- Läbi piirde ebatiheduste toimuv õhu liikumine ei ole kontrollitav, juhitud ega vajadusel filtreeritav. Näiteks niiskuskahjustuste tõttu piirdesse tekkinud hallituse eosed kannab õhk ruumi. Läbi põrandate võib ruumidesse tulla radooni.
- Võivad ilmnedada piirde niiskustehnilised probleemid (veeauru kondenseerumine, hallituse teke)
- Võib toimuda piirde pindade alajahtumine
- Võib halveneda sisekliima kvaliteet, tekkida tuuletõmbus
- Võib saada häiritud ventilatsioonisüsteemide toimivus
- Võivad ilmnedada müraprobleemid
- Tuleohutus

Suurte ebatihedustega piirdetarindis võib niiskuse konvektsioon kanda edasi tunduvalt suuremaid niiskuse koguseid kui niiskuse difusioon seda suudab. Kuigi hoone piire võib olla dimensioneeritud niiskustehniliselt toimivaks veeauru difusiooni suhtes, võib niiskuse kovektsioon põhjustada lubamatult kõrgeid niiskustasemeid.

TERMINID JA MÄÄRATLUSED

- Terminid ja määratlused on vastavalt Euroopa standardis EN ISO 7345 sätestatule:
- Õhulekke suurus \dot{V} , m³/h, l/s
õhulekke hulk läbi hoonepiirete
- Sisemine maht V , m³
testitava hoone või hooneosa piirdetarindite sisepinnast mõõdetud maht; sisekliima tagamisega hoone korral on selleks sihipäraselt köetav, jahutatav või mehaaniliselt ventileeritav ruum hoones või hoone osas, reeglina ei hõlma pööningu-, keldri ja juurdeehituse ruumi (näiteks kütmata garaaž, mida on võimalik lugeda õhupidavate piiretega teistest ruumidest eraldatuks)
- Piirdetarind
testitavat sisemist mahtuväliskeskkonnast või teisest hoone osast eraldav tarind või konstruktsioon

TERMINID JA MÄÄRATLUSED

- **Õhuvahetuskordsus võrdlus(baas)rõhu korral n_{50} 1/h või h^{-1}**
piirdetarindite õhuleket iseloomustav näitaja, mis on määratud õhulekkestestiga võrdlus(baas)rõhul väljendatuna ehitise või mõõdetud tsooni sisemise mahu kohta

Arvutatav valemist

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V}$$

Euroopas kasutatakse võrdlusrõhuks reeglina 50 Pa

- **Õhulekkearv q_{50} , $m^3/(hm^2)$**
piirdetarindite õhuleket iseloomustav näitaja, mis on määratud õhulekkestestiga võrdlus(baas)rõhul väljendatuna ehitise või mõõdetud tsooni piirdetarindite pindala kohta.

Arvutatav valemist

$$q_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_E}$$

Euroopas kasutatakse võrdlusrõhuks reeglina 50 Pa

TERMINID JA MÄÄRATLUSED

- Õhuleke põranda pindala kohta, $w_{50}, \text{m}^3/(\text{hm}^2)$
piirdetarindite õhuleket iseloomustav näitaja, mis on määratud õhulekkestega võrdlus(baas)rõhul väljendatuna ehitise või mõõdetud tsooni netopindala kohta

Arvutatav valemist

$$W_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_F}$$

Euroopas kasutatakse võrdlusrõhuks reeglina 50 Pa

SEADUSANDLUS, JUHENDMATERJAL

- **Energiatõhususe miinimumnõuded.** Vabariigi Valitsuse määrus nr 68. Vastu võetud 30.08.2012
Avaldamismärge: RT I, 05.09.2012,4
- **Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika.** Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus nr 63. Vastu võetud 08.10.2012
Avaldamismärge: RT I, 18.10.2012.1
- **HOONTE SOOJUSLIK TOIMIVUS**
Hoonepiirete õhupidavuse määramine
Ventilaatoriga survestamise meetod
EESTI STANDARD EVS-EN 13829:2001
Jõustunud Eesti standardina: mai 2001
Avaldatud eesti keeles: oktoober 2010
- TTÜ Ehitusteaduskond 2010.a. uuringust
Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõppraport. 2010

SEADUSANDLUS, JUHENDMATERJAL

- TTÜ Ehitusteaduskond

Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ja prognoositav eluiga. Lõppraport 2009

- TTÜ Ehitiste Projekteerimise Instituut

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst. Uuringu I etapi lõpparuanne. 2011

ÕHUPIDAVUSE MÕÕTMINE

Õhupidavuse mõõtmisel on kasutusel kaks erinevat meetodit:

- **Meetod A** (hoone testimine tavalises kasutusolukorras). Ehitise piirdetarindi seisund peaks esindama kütte- või jahutussüsteemide kasutamise hooajale iseloomulikke olusid. Suletakse kõik ukсед, aknad, luugid. Hoonepiirete õhupidavuse parandamiseks täiendavaid meetmeid ei ole vaja rakendada.
- **Meetod B** (hoone piirdetarindi õhupidavuse testimine). Lisaks ustele, akendele, luukidele suletakse kõik reguleeritavad avaused ja muud sihttarbelised avaused).
- Kogu testitav hoone või hoone osa muudetakse rõhuerinevuse tekitamisel üheks tsooniks. Kõik testitava hoone osas olevad vaheuksed peavad olema avatud, et tagada ühtset õhurõhuerinevust sise- ja väliskeskkonna vahel (mida hoitakse umbes 10% täpsuse piires).
- Välisõhu sissevõtuga küttesüsteemid peavad olema välja lülitatud. Avatud küttekolded peavad olema tuhast puhastatud. Mehaanilised ventilatsioonisüsteemid ja konditsioneerid peavad olema välja lülitatud ja nende lõppelemendid õhukindlalt hermetiseeritud. Muud ventilatsiooniavad (näiteks loomuliku tuulutuse avad) peavad olema meetodi A rakendamisel suletud ja meetodi B rakendamisel hermetiseeritud.
- Euroopas kasutatakse võrdlusrõhuks reeglina 50 Pa.

ÕHUPIDAVUSE MÕÕTMINE

- Õhupidavuse mõõtmise illustreerimiseks on järgnevalt esitatud **OÜ Jõgioja Ehitusfüüsika KB** poolt teostatud mõõtmiste tulemused. Töö teostaja on **Mart Jõgioja**. Mõõtmised on teostatud Norras püstitatud hoonetele.
- Norras on (REN TEKNISK 1997) hoonepiirete õhupidavusele esitatud
- järgmised nõuded: väikeelamutel ja ridaelamutel $n_{50} < 4$ l/h, muudel kuni kahekorruselistel hoonetel $n_{50} < 3$ l/h ja üle kahekorruselistel hoonetel $n_{50} < 1,5$ l/h
- Eramute õhupidavuse mõõtetulemused

	Õhulekkearv q_{50} m ³ /(h m ²)	Õhuvahetuskordsus (50Pa), n_{50} 1/h
Palkmaja, 2-korruseline $A_E=571$ m ² $V=715$ m ³	3,0	2,4
Palkmaja, 2-korruseline $A_E=508$ m ² $V=640$ m ³	2,0	1,6
Puitkarkass, 2-korruseline $A_E=335$ m ² $V=310$ m ³	1,9	2,1

ÕHUPIDAVUSE MÕÕTMINE

- Näide korruste arvu mõjust kahe ligikaudselt võrdse mahuga hoone mõõtmistulemuste põhjal.

	Õhulekkearv $q_{50} \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$	Õhuvahetuskordsus (50Pa), $n_{50} \text{ 1/h}$
1-korruseline eramu $A_E=370 \text{ m}^2 \quad V=300 \text{ m}^3$	3,0	2,4
2-korruseline eramu $A_E=290 \text{ m}^2 \quad V=318 \text{ m}^3$	2,3	2,0

Märkus

A_E -piirdetarindi pindala

V – sisemine maht

INFILTRATSIOONI ÕHUVOOLUHULGA MÄÄRAMINE

- Kui hoone õhupidavust ei ole mõõdetud või muul viisil tõendatud, tehakse energiarvutus määruse nr 63 § 9 Tabelis 6 toodud hoone õhulekkearvu baasväärtusega ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$).

Uus või oluliselt rekonstrueeritav väikeelamu 6

Uus või oluliselt rekonstrueeritud muu hoone 3

Olemasolev või rekonstrueeritav väikeelamu 9

Olemasolev või rekonstrueeritav muu hoone 6

- Juhul kui projekteeritud õhulekkearv on suurem kui tabeli 6 baasväärtus, kasutatakse projekteeritud väärtust. Kui õhupidavus on mõõdetud vastavalt standardile EVS-EN 13829 või on tõendatud maja tarnija poolt, kasutatakse energiarvutuses vastavalt mõõdetud või tõendatud väärtust.
- Sama määruse nr 63 § 13 all on toodud infiltratsiooni õhuvooluhulga q_i (l/s) arvutamise valemid:

$$q_i = \frac{q_{50}}{3,6x} A$$

kus q_{50} on hoone välispiirete keskmine õhulekkearv $\text{m}^3/(\text{hm}^2)$, mis saadakse vastavalt määruse §-le 9

A on hoone välispiirete (sh pörandate)pindala m^2

INFILTRATSIOONI ÕHUVOOLUHULGA MÄÄRAMINE

X on tegur, mis on ühekordsetele hoonetele 35, kahekorruselistele hoonetele 24 ning kolme- ja neljakorruselistele hoonetele 20, viie ja enamkorruselistele hoonetele 15. Korruse kõrgusena on arvestatud 3 meetrit.

3,6 on tegur, mis teisendab õhuvooluhulga m³/h ühikust l/s ühikuks.

- Kui ventilatsiooniõhu väljatõmme on suurem sissepuhkest, siis võib infiltratsiooni õhuvooluhulga arvutada järgneva valemiga:

$$q_i = \frac{0,25q_{50}A}{1 + 2780 \left(\frac{q_v - q_s}{q_{50}A} \right)^2}$$

kus q_{50} on hoone välispiirete keskmine õhulekkearv m³/(hm²), mis saadakse vastavalt määruse §-le 9

A on hoone välispiirete pindala m²

q_v on väljatõmbe õhuvooluhulk l/s

q_s on sissepuhke õhuvooluhulk l/s

- Toodud valemite samaaegsel kasutamisel võetakse infiltratsiooni õhuvooluhulgaks tulemus sellest valemist, mis annab väiksema õhuvooluhulga.

INFILTRATSIOONI ÕHUVOOLUHULGA MÄÄRAMINE

- TTÜ ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetoolis läbi viidud uurimistöö raames mõõdeti paljude hoonete õhupidavust ning koguti kokku ka Eestis varem tehtud õhupidavuse mõõteandmed. Nende alusel on arvutatud eri tüüpi hoonetele õhupidavuse baasväärtuste suurused. Uuringust ilmneb, et elamu remont, soojustamine ja välisvooder hoonepiirete õhupidavust oluliselt ei mõjutanud. Renoveeritud elamute õhuleke oli suurem kui renoveerimata elamute oma. Kuna renoveeritud elamute õhupidavust enne renoveerimist ei mõõdetud, ei saa välja tuua renoveerimise mõju õhupidavuse muutusele. Renoveeritud elamute suurem õhuleke võib olla põhjustatud asjaolust, et renoveerimise käigus on sisemine palgi pind üldjuhul välja puhastatud. Sellega eemaldati ka seinasisekrohv, millel oli oluline mõju hoone õhupidavusele.

INFILTRATSIOONI ÕHUVOOLUHULGA MÄÄRAMINE

- Eramute õhupidavuse mõõtetulemused

	Õhulekkearv q_{50} (m ³ /(h m ²))	Õhuvahetuskordsus @50Pa, n_{50} 1/h
Väikeplokk (30 eramut)	5,5	6,5
Kergkarkass (39 eramut)	3,5	4,7
Kergkonstruktsioon (kohapeal ehitatud, 24 eramut)	8,5	8,7
Palk (12 eramut)	13,5	10,5

KÕIK	6,0 (82 eramut)	6,4 (114 eramut)

INFILTRATSIOONI ÕHUVOOLUHULGA MÄÄRAMINE

- Korterite õhupidavuse mõõtetulemused

	Õhulekkearv q_{50} (m ³ /(h m ²))	Õhuvahetuskordsus @50Pa, n_{50} 1/h
Väikeplokk (12 elamut)	4,9	6,4
Monteeritav r/b suurpaneel <2000.a. (28 elamut)	5,4	7,7
Monteeritav r/b suurpaneel >2000.a. (7 elamut)	1,8	2,1
Palk (6 elamut)	9,4	12
Suurplokk (6 elamut)	4,3	6,6

KÕIK	4,4 (71 elamut)	6,0(77 elamut)
Tellis (30 korterit)	4,0	5,7

Märkus: Mõõtetulemustes sisalduvad ka korterivaheliste piirete lekked.

INFILTRATSIOONI ÕHUVOOLUHULGA MÄÄRAMINE

Eelnevad eramute ja korterite õhupidavuse andmed olid võetud TTÜ energiaaudiitorite koolituse materjalidest, välja arvatud viimane tellishoone korterite näitaja. See pärineb TTÜ Ehitusteaduskonna 2010.a. uuringust “Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõppraport”.

TTÜ ehitusteaduskond on koostanud veel 2009.a. uuringu “Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ja prognoositav eluiga” ja TTÜ Ehitiste Projekteerimise Instituut 2011.a. “Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst”.

Kõigis neis uuringutes on käsitatud ka hoonepiirete õhupidavust.

Telliselamute ja suurpaneel-elamute õhupidavuse mõõtmistulemustes suuri erinevusi ei ole. Peamised õhulekkekohad mõlema hoonetüübi juures olid avatäited ja nende liitumised seintega. Erinevuseks oli, et suurpaneel-elamutes esinesid õhulekked peamiselt paneelide liitekohtades ja tellismajades jagunesid need ühtlasemalt kogu piirde ulatuses.

INFILTRATSIOONI ÕHUVOOLUHULGA MÄÄRAMINE

Üllatav oli, et vahetatud ja vahetamata akendega korterite vahel statistiliselt olulisi erinevusi ei olnud.

Maaelamute uuringus ulatuvad palkhoonete õhulekkearvud q_{50} kuni 31-ni, keskmine $15 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ ning n_{50} kuni 38 1/h.

Peamised palkhoonete lekkekohad olid laetalade läbiviigid välisseinast, akna- ja ukseleengide ümbrus ja nurgatapid.

- Eesti Vabariigi Patendiamet on 2010.a. väljastanud kasuliku mudeli tunnistuse EE 00957 U1

See käsitab käsitööpalkseinte varamist. Kahe palgi omavaheliseks sobitamiseks võetakse laseri ja kaameraga üles mõlema teineteise peale paigaldatava palgi liitekohtade profiilid. Juhtarvuti ja koordinaatfreesi abilsaadakse vajaliku kujuga vara.

Kokkuvõte

- Veel hiljuti ei pööratud hoonete infiltratsiooni arvutamisele suuremat tähelepanu ja kõik läks ühise nimetaja “ventilatsioon ja infiltratsioon alla”, kuigi probleem on juba varasemast ajast tuttav. Näiteks PHARE programmi raames koostas AS Jõgioja Ehitusfüüsika Konsultatsioonibüroo koostöös Svensk Bygglidning AB-ga HOONETE SOOJATARBE ARVUTAMISE EHITUSNORMID No: 96-1023.00

Selle lõpparuandes (Normi projekt) oli käsitatud ka hoonete infiltratsiooni. Välispiirete tihedusest sõltuvalt olid elamute tiheduse tasemed jagatud õhuvahetuse kordsuse alusel kolme tasemesse: suur, keskmine ja väike. Õhuvahetuse arvutuslik kordsus oli antud ka sõltuvana hoone varje klassist: pole varjet, mõõdukas varje ja tihe varje.

Hoonete õhulekke baasväärtustesse tuleb suhtuda sõltuvalt sellest, kas on tegemist olemasoleva hoonega või tuleb hinnang anda projekteeritavale hoonele.

Olemasoleva hoone juures tuleb lähtuda MKM 08.10.2012.a määrus nr. 63 juhistest ja projekteeritava hoone puhul tuleb püüelda Vabariigi Valitsuse 30.08.2012.a määruse nr 68 “Energiaõhususe miinimumnõuded” § 12 soovitusel poole:

Kokkuvõte

- (5) Välispiirete keskmine õhulekkearv ei tohi üldjuhul ületada üht kuupmeetrit tunnis välispiirde ruutmeetri kohta , $m^3/(hm^2)$
Peab aga mainima, et sellise õhutiheduse saavutamise ei ole mitte lihtne ülesanne ja nõuab kogu hoone konstruktsiooni hoolikat kavandamist ja korrektset teostust.
- (6) Välispiirete keskmine õhulekkearv ei tohi ületada energiatõhususe miinimumnõuete vastavuse tõendamiseks tehtud energiaarvutuses kasutatud väärtust.
- NÄIDE: Piirete soojuskaod jagunevad soojuskadudeks läbi piirdetarindite, läbi külmasildade ja läbi õhulekkekohtade. Arvutused näitasid, et oluliselt rekonstrueeritud koolimajal ja projekteeritud eramutel moodustasid soojuskaod läbi piirdetarindite umbes 70% ja 30% jagunes külmasildade ja infiltratsiooni vahel sõltuvalt hoone konstruktsioonist.
- **Õhupidavate piiretega peab kaasas käima toimiv, efektiivne ja tasakaalustatud ventilatsioonisüsteem. Energiasääst ei tohi tulla halvema sisekliima arvelt.**