

EKTK seminar 25.08.2015

Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

**steep**  
Support & Training for an Excellent Energy Efficiency Performance

EESTI KÄIBANDUS-TOOTUSKODA

## 4.1. HOONEKARBI ÕHUPIDAVUS

Jaanus Hallik  
Building numerics OÜ | TÜ EETLabor

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Õhulekked hoonekarbis

Õueslõkkejõud

Tuule mõju

Kontrollimatu õhulekked (infiltratsioon ja eksfiltratsioon) läbi välispiirete ebatiheduste (praod, ebatihedad materjalid jne)

Tavalukorras põhjustab infiltratsiooni hoones loomulikult esinev vertikaalsuunaline rõhuerinevus (üleslõkkejõud). Rõhuerinevus sõltub veel hoone sise- ja välis temperatuuride vahel, hoone kõrgusest ja tuulest.

Grafiik: ebök

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Miks on hoonekarbi õhupidavus oluline (1)

- Konstruksioonikahjustuste vältimine**  
kui soe ja niiske õhk eksfiltrerub läbi piirde, siis vesi kondenseerub jahtuvast õhust välja ning märgab konstruktsiooni
- Lokaalse külmaõhu liikumise vähendamine**  
tugev kontrollimatu külma õhu infiltrerumine ruumi tekitab lokaalset ebamugavust (külm õhk puhub selga)
- Ruumiõhu soojusliku kihistumise vältimine**  
Ruumi infiltreruv külm õhk vajub põranda lähedusse ning suurendab ebamugavust (sussid jalga). Mitmekordse hoone puhul võimendub efekt 1. korruse alumises tsoonis.
- Kaitse saasteainete vastu**  
Infiltreruv välisõhk võib kaasa tuua mitmesuguseid saasteaineid (radioon, liiklussaaste jne). Konstruktsioonis tekkiva hallituse spoorid tuuakse infiltreruva õhuga tuppa.

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Miks on hoonekarbi õhupidavus oluline (2)

- Müra summutus**  
leketega välispiire võime nt liikluse müra summutada on väiksem. Isegi väikesed praod mõjutavad müra summutusvõimet olulisel määral.
- Õhuvahetusega seotud soojakadude vähendamine**  
Energiaohusates hästi soojustatud hoonetes võivad ventilatsiooni soojakadud ulatuda enam kui 50%-ni kogusoojakadudest kui soojatagastust ei kasutata. Kontrollimatu õhuvahetus läbi pragude vähendab soojatagastusega ventilatsioonisüsteemi rajamise mõistlikkust.
- Piirdekonstruktsiooni soojapidavuse tagamine**  
Soojustusmaterjalide efekt soojuse väljavoolu takistamisel on seotud seisvate õhukihtide (õhutaskude) olemasoluga nendes materjalides. Kui infiltreruvad ja eksfiltreruvad õhuvoolud soojustusmaterjali läbi puhuvad, siis materjali soojatagistuse efekt väheneb olulisel määral.

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Miks on hoonekarbi õhupidavus oluline

#### Hoonekarbi õhupidavuse mõju hoone energiakulule

- Infiltratsiooni suurenemine suurendab küttevajadust. Sõltuvalt hoone energiatõhususe tasemest, asukohast (tuulekaitse situatsioonist) ning kontrollimatute õhulekete suurusest on mõju suurus erinev.
- Tüüpilisel eramul tuule eest kaitsmata asukohas võib kütteeenergia vajadus õhupidavuse muutumisel suurendada 5% kuni 20% kui hoone õhulekkedkordus e määra  $n_{50}$  muutub vahemikus  $1 \text{ h}^{-1}$  kuni  $10 \text{ h}^{-1}$ . **Energiaohusatel hoonetel on õhulekete mõju proportsionaalselt suurem!**
- Nagu varem mainitud võib eksfiltreruv õhk tänu soojustusvilla märgumisele avaldada täiendavat ja olulist mõju hoone energiakulule.
- Tüüpiliste buumiaegsete hoonete (ca  $250 \text{ m}^2$ ) õhulekkedkordus ( $n_{50}$  arv) Eestis on vahemikus  $5\text{-}6 \text{ h}^{-1}$ .

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Hoonekarbi õhupidavuse mõju hoone energiakulule

#### Õhulekete mõju hoone küttevajadusele ja maksimaalsele küttekoozumusele (näide väga energiatõusast rütmilise puhul Saksamaal)

Aastane küttevajadus [kWh/(m²\*a)]

$n_{50}$  (1/h)

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

	kütteenenergia netovajadus, kWh/(m2a)	Energiaõhususarv, kWh/(m2a)
n50 = 6,0 h <sup>-1</sup>	100,2	172,1
n50 = 3,0 h <sup>-1</sup>	77,6	156,4
n50 = 0,6 h <sup>-1</sup>	60,0	147,7

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Mitte ainult energetiline probleem

Välis temperatuur	-20 °C
Tuul	1 m/s
Pilvisus	Väga hõre

Asukoht: ruum 003  
**Kommentaari:**  
 Külma välisõhku on pääsenud seinakonstruktsiooni sisse ja jahutab sisevõimistlust kasutatud kipsplaate. Tõsisest probleemist annab märku ka tavaliselt nähtav jaatumine aknapöisel. Infrapunafotol on need piirkonnad ümbritsetud ringiga.

Faili nimi	IR_1448.jpg
Kellaeg	10:11:40
Emissiivsus	0,98
Max. temperatuur	19,6 °C
Min. temperatuur	-4,9 °C
Sp1 temperatuur	10,4 °C
Sp2 temperatuur	-4,2 °C

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Hoonekarbi õhupidavus – milleks ?

Suurimad probleemkohad on praod, kust niiske õhk saab eksfiltreruda

0° C; 80% suhteline õhuniiskus **360g vett/päevas meetri kohta**

20° C; 50% suhteline õhuniiskus **1 mm laiune pragu**

**võrdluseks:**  
 veeauru difusioon läbi piirde ainult 1 g vett / päevas ruutmeetri kohta

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

Hoonekarbi hea õhupidavus saavutatakse selle detailsel projekteerimisel

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### ... ning hilisemal kvaliteetsel realiseerimisel

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Korralik õhupidavus on eraldi projekteerimisülesanne

Väga energiatõhusate hoonete puhul n<sub>50</sub> maks. 0.60 h<sup>-1</sup>

kavanda ÜKS katkematu õhupidav kiht (tüüpiliselt piirde sisepinnas) mis ümbritseb kogu köetavat hoonemahtu !

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Õhupidavus: kavandamine ja tööjoonised

- Otsusta millise välispiirde kihiga õhupidavus tagatakse
- Väldi läbiviike ja õhupidava kihi läbistamist
- Õhupidavuse kontseptsiooni loomisel püüa minimeerida õhupidava kihi jätkukohtade pikkust
- Vali materjalid ja sobivad sõlmelahendused (uuri tüüplahendusi ja konsulteeri spetsialistidega, kui vaja)
- Koosta tööjoonised ja kontrolli, et õhupidav kiht ei katke üheski sõlmes
- Tööjoonised (kõikide sõlmede kohta) peaks olema mõõtskaalas vähemalt 1:10 ning vajadusel varustatud lisainformatsiooniga tegevuste ajalise järgnevuse kohta. Kommunikööri vajalikud tegevused ehituse projektjuhile ja ehitusmeeskonnale
- Õhupidavuse tagamiseks kasutatud materjalid peavad olema ajas püsivad!

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Erinevad materjalid ja nende läbipuhutavus

Materjal	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h) @ 50 Pa
kips-tement krohv	0,002 - 0,05
silikaat- või keraamiline tellis	0,001 - 0,05 (va vuugikohad)
poorbetoon	0,06 - 0,35
kipsplaat	0,002 - 0,03
vineer	0,004 - 0,02
saepuruplaat, õhuke puitlaastplaat	0,05 - 0,22
MDF	0,001 - 0,003
pehme putkiud - isolatsiooniplaat	2 - 3,5
erinev üaspuit	kuni 0,0003
polüüleen rnk tile 0,1 mm	0,0010 - 0,0015
büuumengap p.p	0,008 - 0,02
Spetsiaalne ehituspap plehituspaber	0,01 - 3
mineraalvill	13 - 150

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Õhupidavad materjalid ja nende ühendamine

- Paksem OSB plaat
  - Õhupidavuse teip
  - Krohvi ühendamiseks võrguga aurutõkkeriba
  - Betooniga ühendamiseks mastiks
- Aurutõkkekiht (-membran) / armeeritud ehituspaber
  - õhupidavuse teip
  - mastiks betooniga ühendamiseks
- Betoon
  - Õhupidavuse teip
  - Butüülitihendid paneelide vahel
  - Krohv (kui paneelide liikumine on välistatud)
- Krohvitud müüritis
  - krohv

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Õhupidavuse teibid peavad olema vastupidavad konstruktsiooni liikumisele ja ajas püsivad

10 mm

... Ei tohi rebeneda!

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Õhupidavus – sobimatud materjalid õhupidavas kihis!

#### Õhku läbi laskvad materjalid

- Katmata müüritis ja vuugikohad (installatsioonide süvised tuleb kindlasti krohvida!)
- Pehmed puitkiudplaadid
- Augustatud aurutõkke (isegi eemaldatud klambritest jäänud augud)
- Jäigad vahtpolüstüreenist plaadid
- Punni ja soonega laudis

#### Ajas mitte püsivad õhupidavad ühendused

- Maalriteip/toruteip jne
- Liga märg või kuiv betoon monoliidi valamisel
- Spets. õhupidavuse teibid kruntimata tellismüüritisel ja teistel poorsetel pindadel
- Polüuretaanist montaaži vahet (makroflex)
- Vuukide tihendamine silikoonega

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Renoveerimine: kas õhupidavus peab alati olema piirde sisepinnal?

Probleem: ühtset kihti ei ole võimalik tekitada, õhupidavasse kihti jäävad paratamatult augud (näiteks vahelae paneeli kohas)

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

**Eri lahendus renoveerimisel: õhku pidav kiht väljas pool algset piiret**

Nürnberg, Jean-Paul-Platz  
Architect: Dr. Schulze Darup

**krohv ühendus aurutõke**

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

**Kiviseina puhul on õhupidavaks kihiks peamiselt seesmine krohvikihit**

cladding, diffusion open  
cladding  
plastered air seal  
Internal plaster  
External rafter according to static requirement  
Expansion gap between render and cladding  
Sealing tape  
Fixing  
Finishing coat  
Stone mesh reinforcement  
Insulation boards  
Glue

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

**Kivisein: õhupidavad ühendid**

Ceiling lining  
Airtight membrane  
Thermal insulation  
Plaster  
Solid wall  
Expanded metal laths

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

**Välisseina ja katuslae õhupidav ühendamine**

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

**Välisseina ja aknalengi õhupidav ühendamine**

Window frame  
Internal plaster  
Solid wall  
Thermal insulation  
Expanded metal lathwork \*)  
PE-window foil or rubber adhesive tape with fleece

\*) not needed when using fleece laminated adhesive tape

**Aknapaled tuleb eelnevalt tasandada ja puhastada, vajadusel kruuntida. Õhku pidav aknateip tuleb lengile kinnitada enne montaaži!**

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

**Akna seinakinnitus kiviseina puhul**

Hea lahendus on ka aknalengi teipimine tasandatud ja puhastatud aknapale külge

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841



EKTK seminar 25.08.2015

### Potentsiaalsed lekkkohad

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Tüüpilised vead, mis toovad kaasa kontrollimatu õhulekke

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Tüüpilised veakohad

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Tüüpilised veakohad: pistikupesad

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Tüüpilised veakohad: läbiviigid

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Tüüpilised veakohad

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Läbiviigid õhupidavaks: kummist "kraed"

Fotos: Manufacturer

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Läbiviigid õhupidavaks : käsitsi teipimine

accurate implementation

Architects: Andrea Hoppe, Hoppe and Schäfer, Wuppertal  
Foto: Home owner, Inc.  
Successful design and construction of Passive Houses.  
Published by: ILS, 2004

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Kergkatuse ja seina õhupidav ühendus

DA2  
VERTIKALSCHNITT  
Dach-Traufe

Lae aurutõke teibitud  
Seinakonstruktsioonis  
OSB külge

Apartment block Wohnsinn, Darmstadt,  
Architects: faktor10, Darmstadt

Source: AkkP 29, PHI, Darmstadt

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Põhimõtted õhupidavuse tagamisel kergkonstruktsiooni korral

Õhupidavus luuakse konstruktsiooni seesmistest kihtidest

- Aurutõkkekile / membraan
- OSB

Hea lahendus on installatsioonide paigutamine õhupidavast kihist sisse poole

All näide õhupidava kihi jätkemisest vahelae sõlmes.

1. 2. 3. 4. 5.

membrane, diffusion open

Clear how to go on

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Näide: ruumi jääv katmata laetala

Enne sarikate paigaldamist on üle laetala pandud aurutõke, mida on lihtne hiljem teiste kihtidega ühendada

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Põhimõttelised lahendused kergkonstruktsiooni korral

Bodenauflage:

- Fußbodenbelag (z.B. PVC, Parkett)
- Bauteilschnitt (z.B. Fenestrier-Einbauelement)
- 2x 11,2cm Lärmschutzwolle
- 5cm STEICO-Unterbau
- Dampfsperre
- Holzwerkstoffplatte (OSB)
- STEICO-Decke + STEICO-Lage
- PE-Folie bzw. bitumenöse Abdichtung
- OSB-Brücke

Abbildung (Dampfsperrestrahfen) / Luftdichter Abschluss

STEICO-Unterbau

Querschnittsmaßstab

Blumenkasten / Blumenkasten

Polstermeter-Übersetzung

Dränplatte

Building

EKTK seminar 25.08.2015

### Põhimõttelised lahendused kergkonstruktsiooni korral

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Aknalengi ja puitkarkasseina õhupidav ühendamine

Horizontal window section  
Vertical window section

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Aknalengi ja puitkarkasseina õhupidav ühendamine

Flächengewebe STEICO protect Fugendicht  
STEICO protect Gewebeventil  
Laibengplatte STEICO protect  
Fugendichtband (siehe Detail A-1-4-E)  
STEICO protect Anputzleiste  
STEICO wall oder Kofert  
Klebeband

**Õhupidav kleeplint**

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Näide: õhupidav akna seinakinnitus

- Aknaraam viid soojustuse kihti (külmasilla vältimiseks)
- Punktühendused fikseerimiseks
- Aknalengi külge eelnevalt (enne montaaži) kinnitatud teibiriba
- Akent toetav tugipruss

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Erinevate konstruktsioonitüüpide õhupidavuse võrdlus

(206 realselt mõõdetud hoonet)

Building Type	Pressure test value $n_{50}$ [ $h^{-1}$ ]
EnEV-limiting value (Buildings with a ventilation system)	~1.5
Piirväärtus passiivmajadele	~0.6
Keskmine mõõdetud $n_{50} = 0.37 h^{-1}$	0.37

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

### Erinevate konstruktsioonitüüpide õhupidavuse võrdlus

Building Type	Pressure test value $n_{50}$ [ $h^{-1}$ ]
Piirväärtus passiivmajadele	~0.6
Kergkonstruktsioon	0.50
Kivikonstruktsioon	0.41
Segatüüpi konstruktsioon	0.33

BS = Formwork element made of rigid polystyrene foam

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

EKTK seminar 25.08.2015

**Erinevate konstruktsioonitüüpide õhupidavuse võrdlus (uuring Eestis)**

Eesti 2-3 aastat vanades elamutes esinevate keskmiste infiltratsioonimäärade (50 Pa alarõhu tingimustes) sõltuvus erinevatest mõjuteguritest (Kalamees, T., 2006):

- Maja vanuses (olenevalt vanusest võib  $n_{50} = 10$  (1/h) ja rohkem)
- korruselisus
  - 1 korruseline –  $n_{50} = 2.3$  (1/h)
  - 2 korruseline –  $n_{50} = 5.9$  (1/h)
- Piirde konstruktsioon:
  - puitsörestikmaja –  $n_{50} = 4.7$  (1/h)
  - kivimajaga –  $n_{50} = 2.8$  (1/h)
- Professionaalse järelevalve kasutamine ehitusel
  - jah –  $n_{50} = 2.1$  (1/h)
  - ei –  $n_{50} = 3.7$  (1/h)

Building numerics OÜ | jaanus@buildingnumerics.ee | +372 5021841

