

Vanade puithoonete soojustamine.

Üllar Alev
Tallinna Tehnikaülikool

Tartu - 24. jaanuar 2014



Vana maja renoveerimisvajadus

- Avariiolukorra likvideerimine või vältimine
- Hoone välisilme parandamine
- Uute hüvede ja mugavuse loomine
- Energiatõhususe parandamine
- Kinnisvara hinna tõstmine või säilitamine
- jne





Energiatõhusus

- Energiatõhususe eesmärk on tagada hoonete keskkonnasäästlikkus ja hea sisekliima majanduslikult efektiivsel viisil;
- Energiatõhususe nõuded täiendavad üldisi nõudeid hoonete funktsionaalsusele, turvalisusele ja tervislikkusele;
- **Energiatõhususarv** ETA, **kWh/(m²·a)**:
 - sisekliima tagamiseks:
 - kütmiseks,
 - jahutamiseks,
 - ventilatsiooniks,
 - valgustuseks,
 - tarbevee soojendamiseks,
 - olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks.



Hoone energiatõhusus

- Hoone energiatõhusust mõjutavad tegurid:
 - **hoone piirete omadused:**
 - soojusläbivus U , $W/(m^2 \cdot K)$;
 - õhupidavus q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2)$;
 - külmasilla soojusläbivus Ψ , $W/(m \cdot K)$;
 - teatud määral ka hoonepiirete soojuslik massiivsus (mõjutab eelkõige suvist jahutusenergia kulu);



Hoone energiatõhusus

- Hoone energiatõhusust mõjutavad tegurid:
 - hoonepiirete omadused;
 - **hoone kompaktsus** - köetavate ruumide pindala (või kubatuur) ja hoone välispiirete pindalade suhe (välispiirded on need piirded millede kaudu pääseb soojus välja)



Hoone energiatõhusus

- Hoone energiatõhusust mõjutavad tegurid:
 - hoonepiirete omadused;
 - hoone kompaktsus;
 - **avatäidete (aknad, ukсед) omadused:**
 - klaasiosa soojusläbivus U , $W/(m^2 \cdot K)$;
 - raami osa soojusläbivus U , $W/(m^2 \cdot K)$;
 - avatäidete suurus, suund (ilmakaar);
 - klaasiosa päikesetegur g ja valguse läbivus;
 - päikesekaitse lahendused (jahutuse vältimiseks);



Hoone energiatõhusus

- Hoone energiatõhusust mõjutavad tegurid:
 - hoonepiirete omadused;
 - hoone kompaktsus;
 - avatäidete omadused;
 - **soojusvarustuse ja küttesüsteemi omadused:**
 - ahju, katla, soojuspumba vms. efektiivsus;
 - ruumitemperatuuri reguleerimise võimalus;
 - ülekütmise vältimine;
 - kütte ja sooja tarbevee jaotussüsteemi soojuskaod;



Hoone energiatõhusus

- Hoone energiatõhusust mõjutavad tegurid:
 - hoonepiirete omadused;
 - hoone kompaktsus;
 - avatäidete omadused;
 - küttesüsteemi omadused;
 - ventilatsioonisüsteemi omadused**, eelkõige:
 - väljapuhkeõhu soojussisalduse ära kasutamine;
 - ventilaatori elektriline erivõimsus, SFP;
 - õhuvahetuse efektiivsus;



Hoone energiatõhusus

- Hoone energiatõhusust mõjutavad tegurid:
 - hoonepiirete omadused;
 - hoone kompaktsus;
 - avatäidete omadused;
 - soojusvarustuse ja küttesüsteemi omadused;
 - ventilatsioonisüsteemi omadused;
 - **sisekliima**, eelkõige:
 - ruumitemperatuur;
 - ventilatsiooni õhuvooluhulk;
 - ruumide valgustus (sh. loomulik valgus ja tehisvalgustus)



Hoone energiatõhusus

- Hoone energiatõhusust mõjutavad tegurid:
 - hoonepiirete omadused;
 - hoone kompaktsus;
 - avatäidete omadused;
 - soojusvarustuse ja küttesüsteemi omadused;
 - ventilatsioonisüsteemi omadused;
 - sisekliima;
 - elektriseadmete ja valgustuse energiatõhusus:**
 - seadmete energiatõhusus ja kasutus;
 - valgustuse energiatõhusus ja kasutus;



Hoone energiatõhusus

- Hoone energiatõhusust mõjutavad tegurid:
 - hoonepiirete omadused;
 - hoone kompaktsus;
 - avatäidete omadused;
 - soojusvarustuse ja küttesüsteemi omadused;
 - ventilatsioonisüsteemi omadused;
 - sisekliima;
 - elektriseadmete ja valgustuse energiatõhusus;
 - **kasutatav energiaallikas:**
 - energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju, võetakse arvesse energiakandjate kaalumisteguritega;



Vana maja energiatõhususe parandamine

- Hoone energiatõhusust mõjutavad tegurid:

- hoonepiirete omadused:

- hoone kompaktsus;

- avatäidete omadused;

- soojusvarustuse ja küttesüsteemi omadused;

- ventilatsioonisüsteemi omadused;

- sisekliima;

- elektriseadmete ja valgustuse energiatõhusus;

- kasutatav energiaallikas;

Vana maamaja energiatõhusust võib parandada nende kõikide komponentide abil



Probleemistik...

- Niiskuse probleemid, niiskus õhus ja hoonepiiretel
- Vana hoone õhupidavus, õhulekete kohad
- Vana palkmaja soojustamise võimalused – kas soojustada seest või väljast
- Vana palkmaja taastamise planeerimine ja tööde järjekord



Niiskuse probleemid, niiskus õhus ja hoonepiiretel.





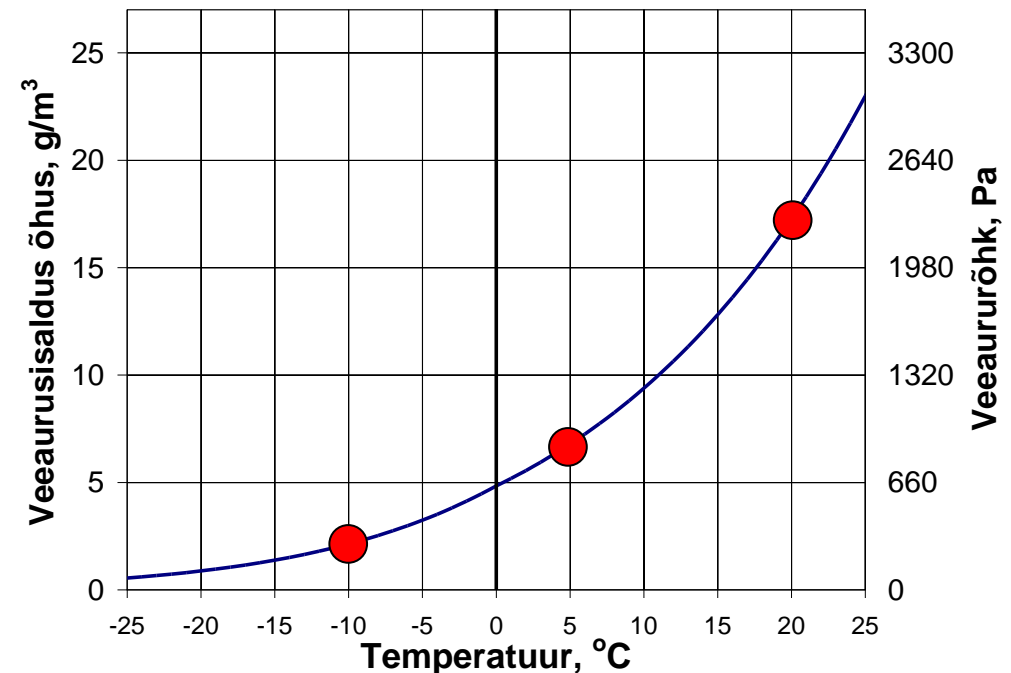
Õhk

- Õhk on gaaside segu, mille põhikomponentideks on:
 - Lämmastik N_2 : ~78,09 vol%,
 - Hapnik O_2 : ~20,93 vol%,
 - Muud gaasid:
 - Argoon Ar: 0,93 vol%
 - Süsinikdioksiid CO_2 : 0,04 vol% (400ppm)
 - Muud gaasid väiksemas koguses
- Reaalne õhk ei ole kunagi täiesti kuiv st. ta sisaldab alati ka veeauru molekule e. **veeauru** (kuni 5 vol%)
- Veeaur on värvitu ja lõhnatu gaas (udu koosneb juba kondenseerunud vee piiskadest)



Niiskus õhus

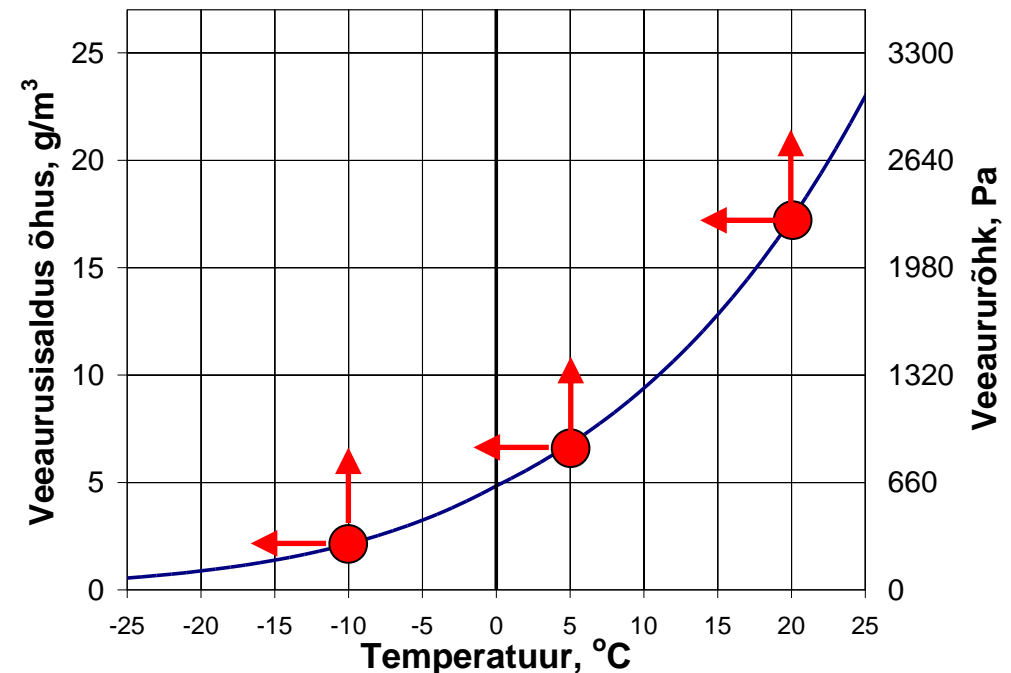
- Mida kõrgem on õhutemperatuur, seda rohkem võib õhk sisaldada veeauru.
- Igal temperatuuril on õhus olevatele veemolekulidele teatav maksimaalne piir (kontsent. suurem: kondenseerumine):
 - veeauru küllastusrõhk: p_{sat} , Pa,
 - veeauru küllastussisaldus: v_{sat} , g/m^3 .
- Mida kõrgem on õhu temperatuur, seda rohkem võib õhk sisaldada veeauru
- Näiteks
 - 10°C: 2,1 g/m^3 või 259 Pa;
 - +5°C: 6,8 g/m^3 või 872 Pa;
 - +20°C: 17,3 g/m^3 või 2337 Pa





Niiskus õhus

- Kui veeauru küllastusrõhk või veeauru küllastussisaldus on saavutatud, siis täiendavate veemolekulide õhku lisamisel kondenseerub osa veemolekule välja.
- Kui õhu temperatuur langeb alla küllastustemperatuuri, kondenseerub osa veemolekule välja
- Kondenseerumine toimub nii pluss- kui ka miinus-temperatuuridel





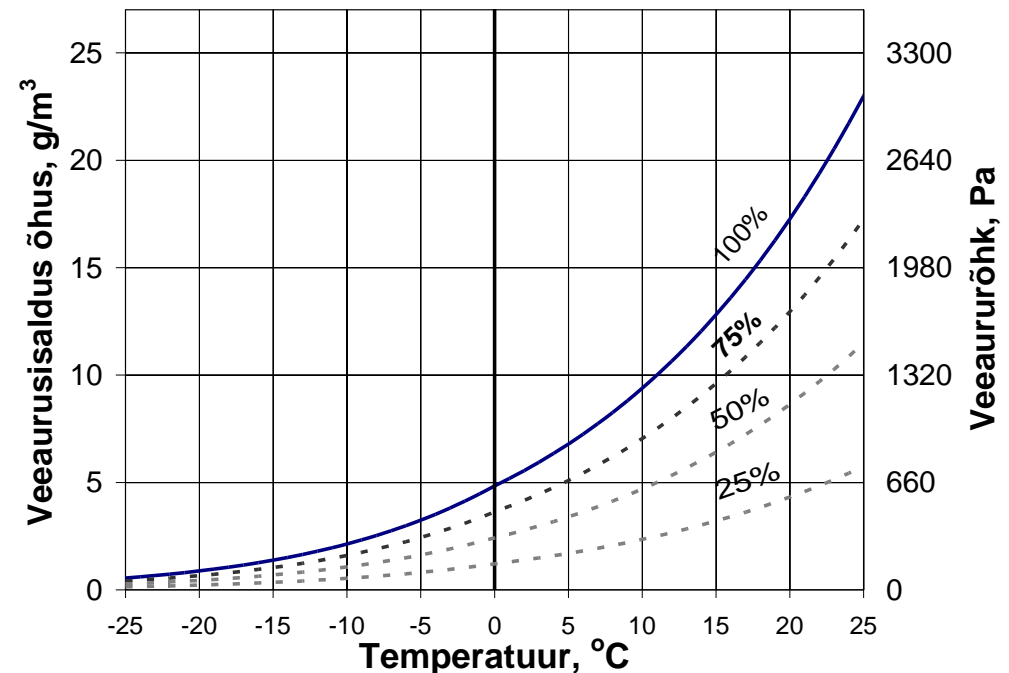
Niiskus õhus

- Veeauru hulka õhus võib iseloomustada:
 - veeauru massi suhtega kuiva õhu massi: **absoluutne niiskus**, kg/kg;
 - veeauru massi suhtega kuiva õhu mahtu: **õhu veeaurusisaldus**, g/m³;
 - veeauru osarõhuga, Pa;
 - suhtelise niiskusega, %.

■ Suhteline niiskus φ , RH (Relative Humidity):

- Õhu veeauru osarõhu suhe veeauru küllastusrõhku,
- Õhus oleva veeauru koguse ja õhus samadel tingimustel maksimaalselt sisalduda võiva veeauru koguse suhe;

$$RH = \frac{p}{p_{sat}} \cdot 100 = \frac{v}{v_{sat}} \cdot 100$$





Suhteline niiskus: õhu veeauru sisalduse muutus

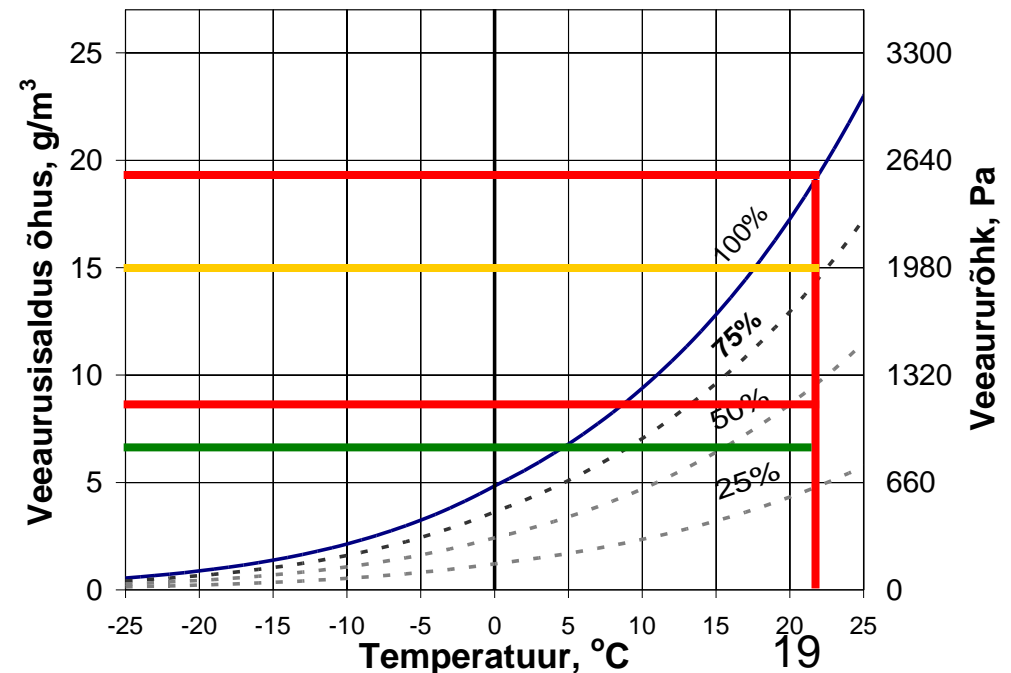
• +22 °C → v_{maks} : 19.4 g/m³

v : 6.8 g/m³ → RH 35 %

v : 8.8 g/m³ → RH 45 %

v : 15 g/m³ → RH 77%

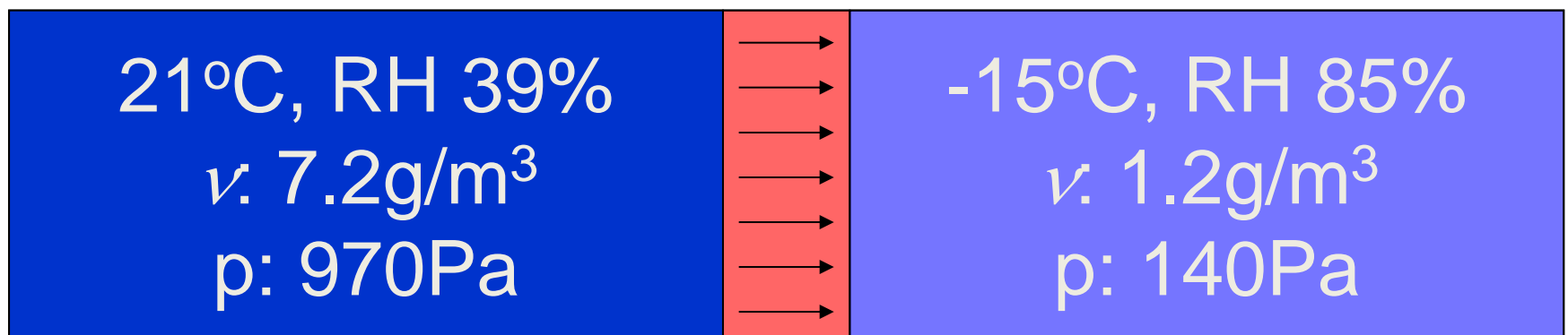
$$RH = \frac{\rho}{\rho_{\text{sat}}} \cdot 100 = \frac{v}{v_{\text{sat}}} \cdot 100$$





Niiskuse liikumine: difusioon

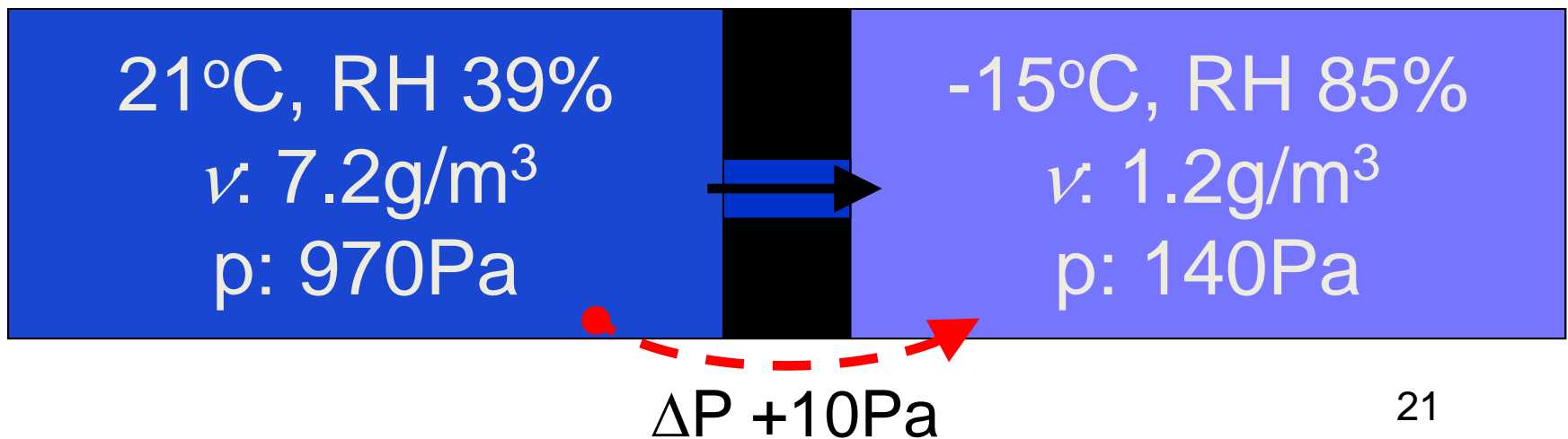
- Difusioon on füüsikaline nähtus, mille mõjul erinevad gaasid või gaasi erinevad kontsentratsioonid moodustavad homogeense gaasisegu.
- Difusioon: veeaur liigub suurema veeauru sisalduse poolt väiksema veeauru sisalduse poole (suurema veeauru osarõhu poolt väiksema poole)





Niiskuse liikumine: konvektsioon

- Konvektsiooni korral liigub niiskus piirdes õhuvoolu mõjul läbi poorse materjali või tarindis olevate pragude ja aukude kaudu.
- Konvektsioon sõltub:
 - õhu rõhkude erinevusest
 - materjali õhujuhtivusest
 - pragude olemasolust
- Konvektsiooni teel võib liikuda oluliselt rohkem veeauru, kui difusiooni teel: õhupidavus





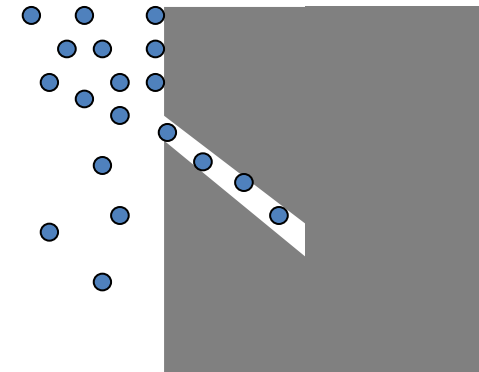
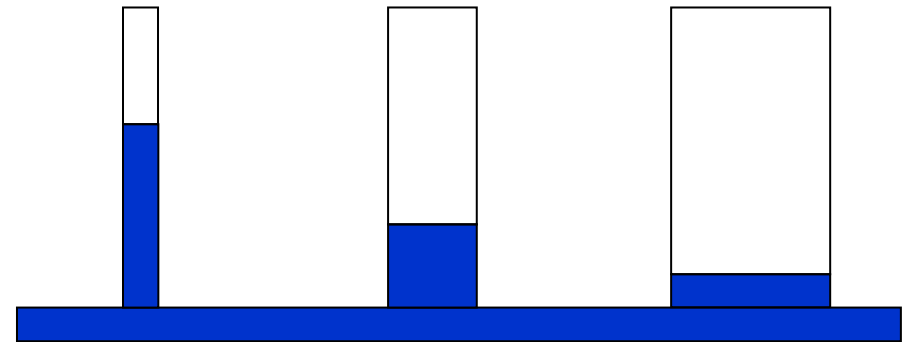
Konvektiivne niiskusvool

- Kui siseruumides on alarõhk:
 - imendub külm ja kuiv välisõhk ruumi konstruktsiooni pragude ja vuukide kaudu.
 - õhk soojeneb, tema suhteline õhuniiskus langeb ja see võib konstruktsioone kuivatada.
 - õhu soojenemise ja niiskuse aurustumise tõttu tarind jahtub.
- Kui siseruumides on ülerõhk:
 - imendub soe ja niiske siseõhk õue konstruktsiooni pragude ja vuukide kaudu.
 - õhk jahtub, tema suhteline õhuniiskus tõuseb ja see võib konstruktsioone niisutada.
 - kui siseõhu niiskussisaldus on kõrgem kui välisõhu või konstruktsiooni küllastus niiskussisaldus, kondenseerub veeaur piirdekonstruktsiooni.



Niiskuse liikumine

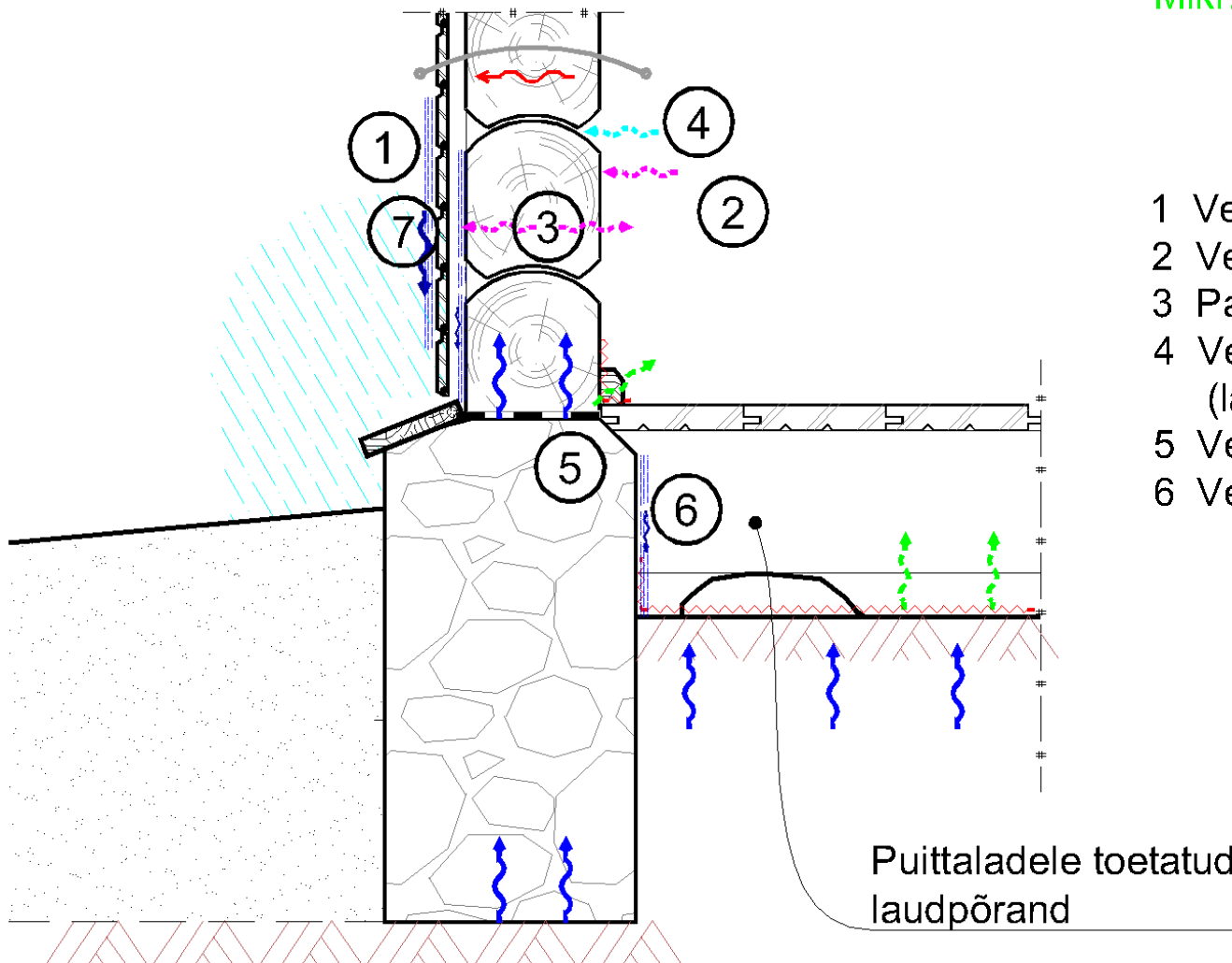
- Difusioon
- Konvektsioon
- Kapillaarne liikumine on vee liikumine materjalis oleva kapillaarjõu ja vee pindpinevuse toimel;
- Gravitatsioon
- Eeldavad vaba vee olemasolu;





Niiskuse liikumine

Vesi		Vee valgumine raskusjõu mõjul
Kap.		Vee kapillaarne liikumine
Konv.		Veeauru konvektsioon
Dif.		Veeauru difusioon
Q		Soojavool
ΔP		Õhurõhkude erinevu
Mikr.		Mikroobide liikumine
		Kondenseerumise ja mikroobide kasvu oht
		Vaba vesi



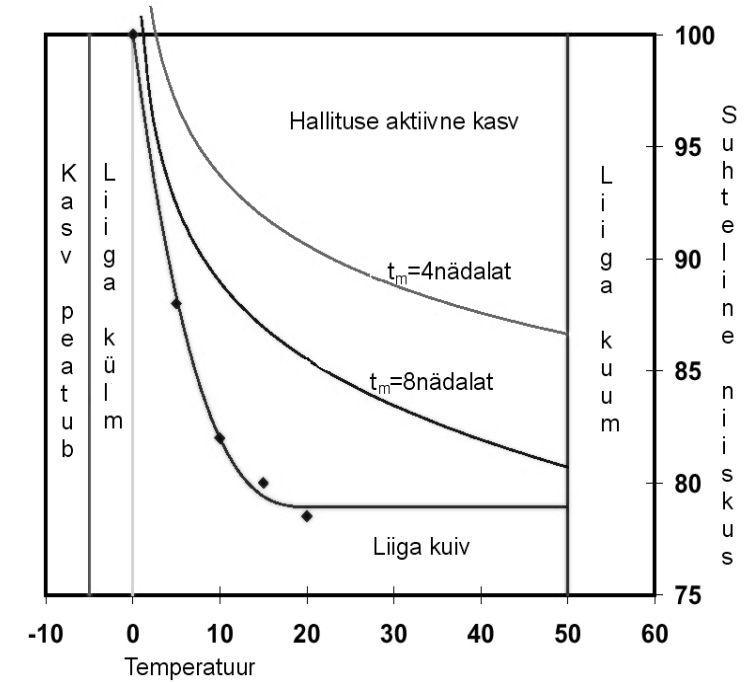
- 1 Vee valgumine seinal (sademed)
- 2 Veeauru difusioon siseruumidest välja
- 3 Palkseina kuivamine
- 4 Veeauru konvektsioon siseruumidest välja (läbi varade, tappide ja pragude)
- 5 Vee kapillaarne liikumine
- 6 Veeauru kondenseerumine



Niiskuse kriitiline tase

- Hoonepiiretes tuleb vältida hallituse kasvu
- Hoonepiiretes tuleb vältida veeauru kondenseerumist (vaba vett), kuna:

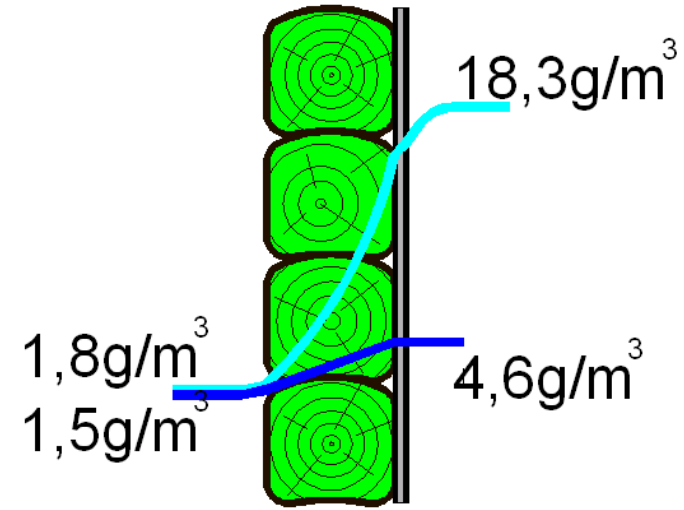
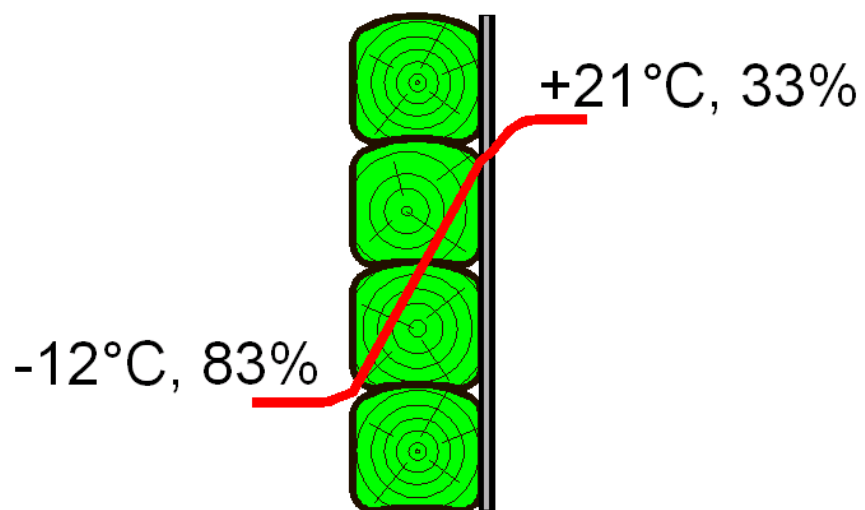
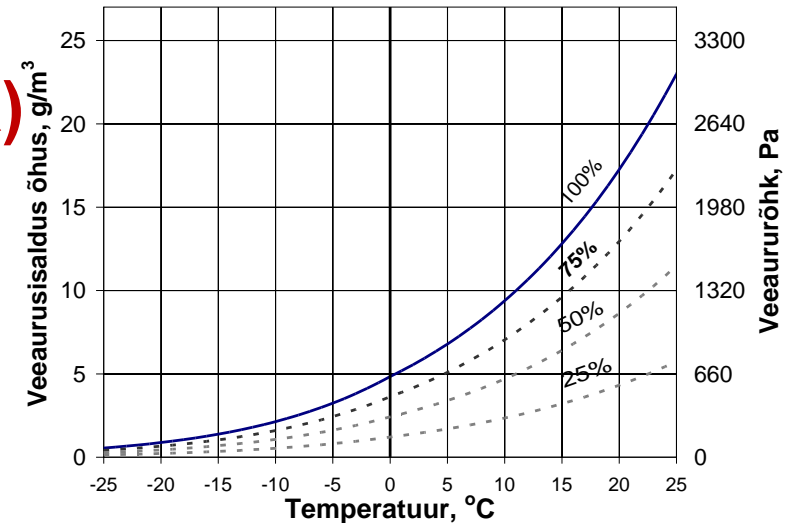
- suureneb materjalide soojajuhtivus
- soodsad tingimused puidu mädanemisele
- soodsad tingimused metallide korrosiooniks
- soodsad tingimused hallituse tekkeks
 - puit ja puidupõhised materjalid 75...80%
 - paber kipsplaadil 80...85%
 - mineraalvill 90...95%
 - betoon 90...95%





Veeauru kondenseerumise kontroll

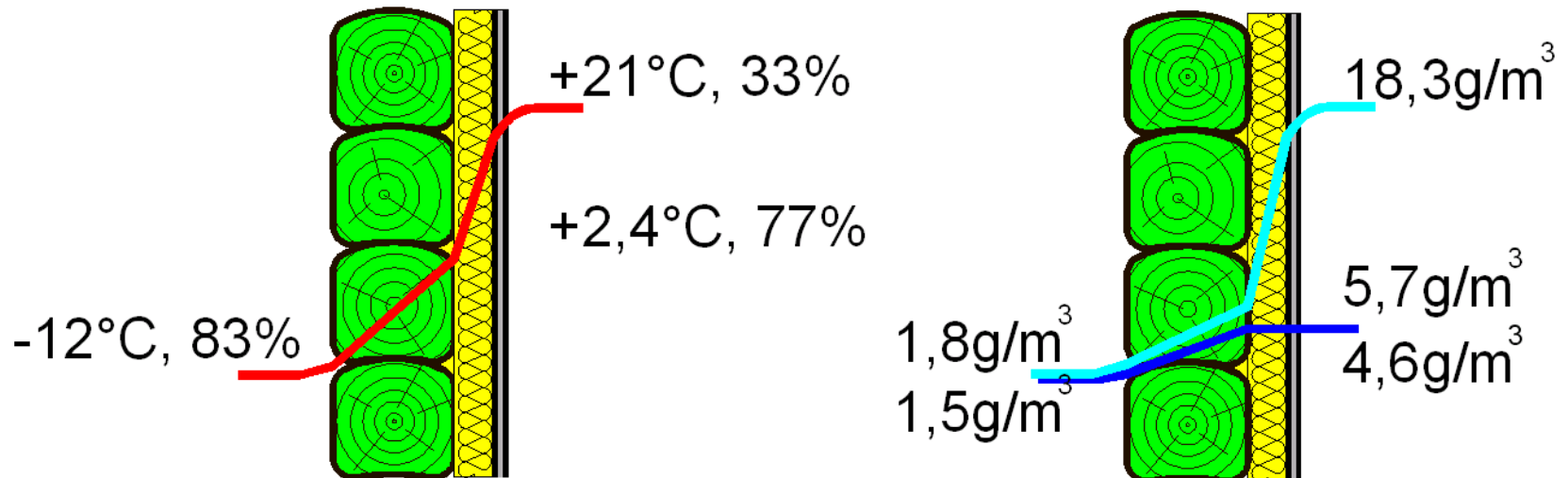
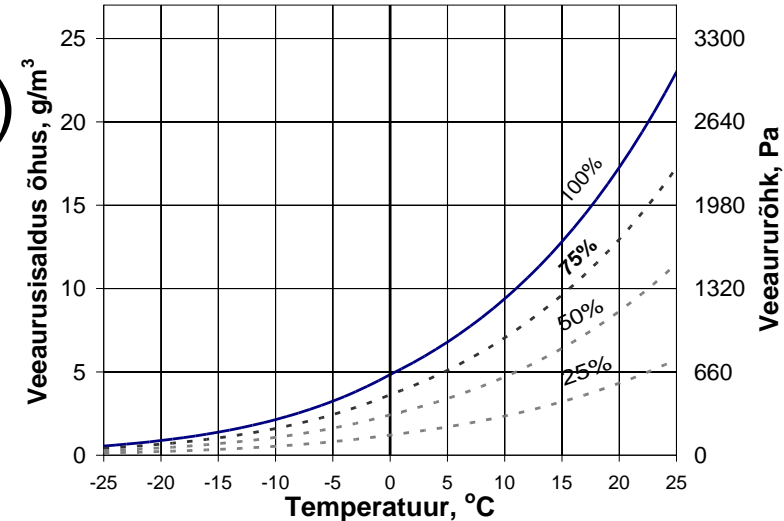
- **15cm palksein, $U=0,77W/(m^2 \cdot K)$**





Veeauru kondenseerumise kontroll

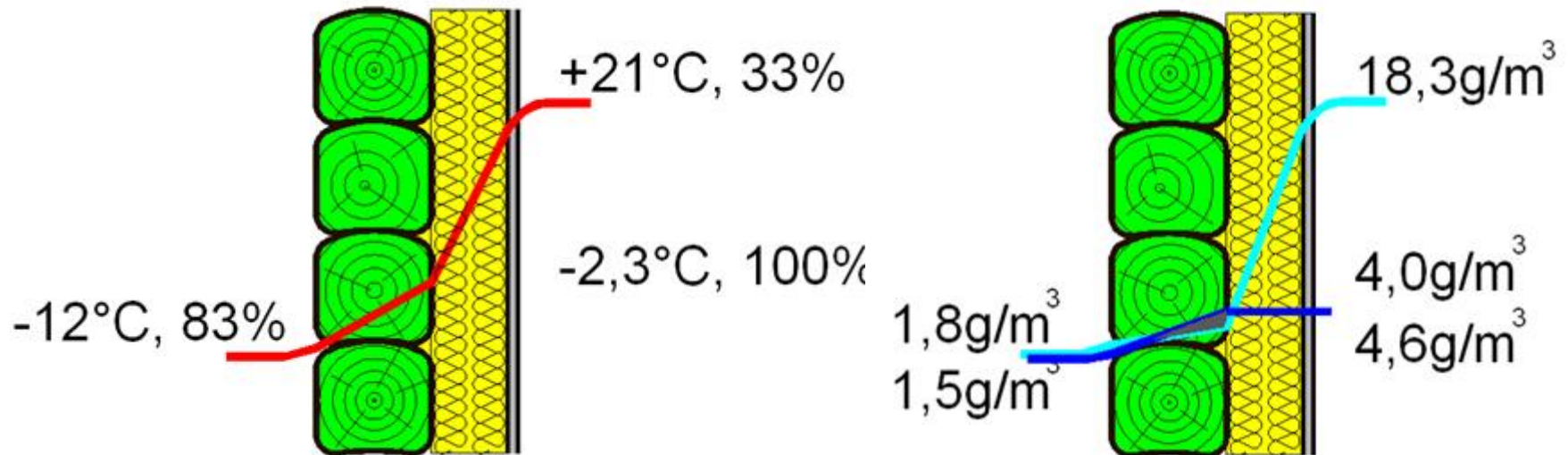
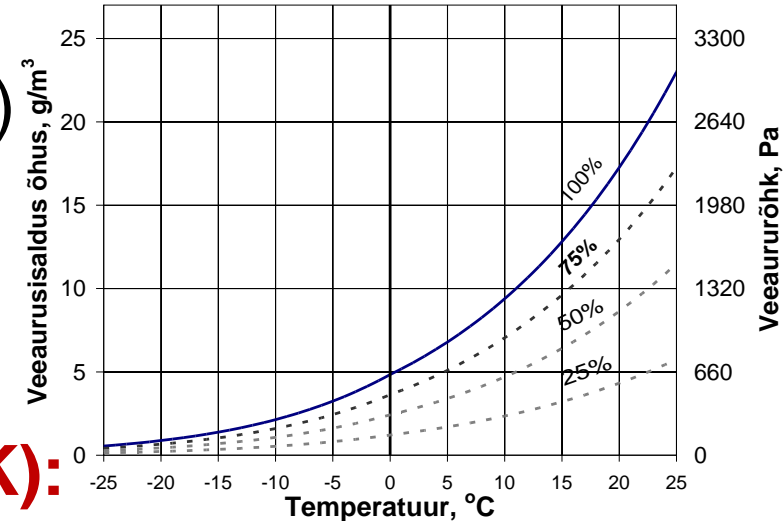
- 15cm palksein, $U=0,77\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- **15cm palk + 5cm soojustus sees**
 $U=0,4\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$





Veeauru kondenseerumise kontroll

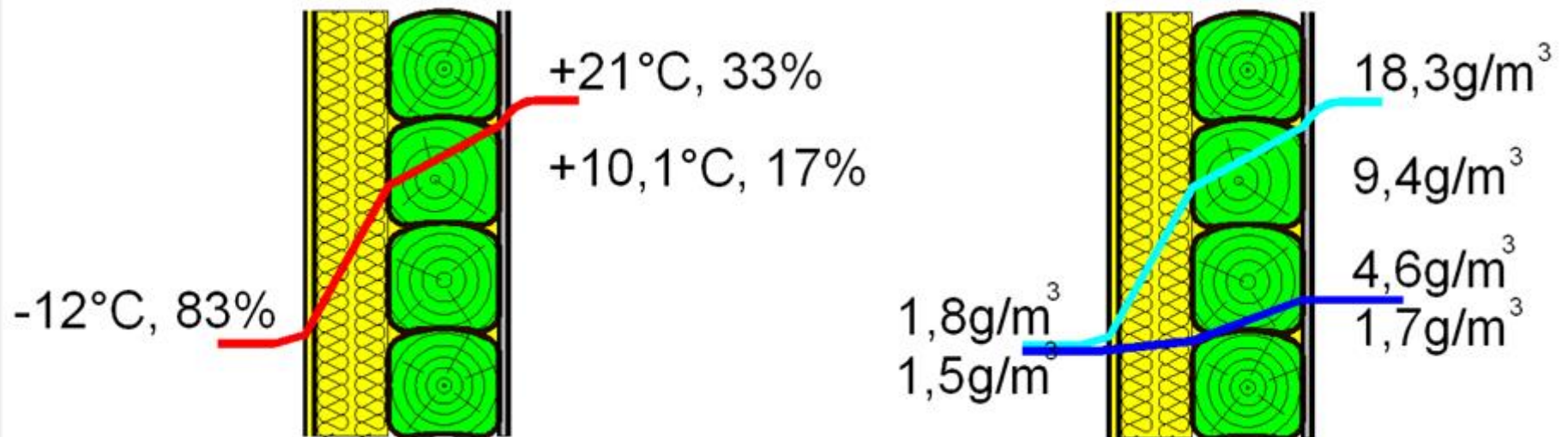
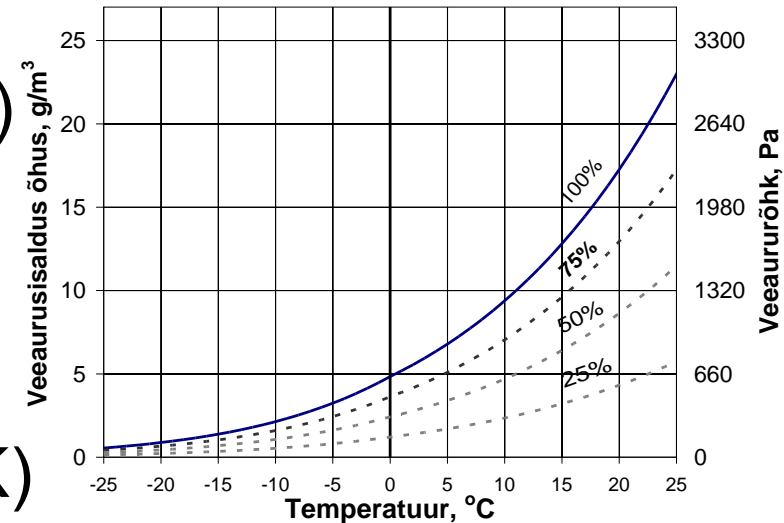
- 15cm palksein, $U=0,77\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- 15cm palksein + 5cm soojustus sees $U=0,4\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- **15cm palk + 10cm soojustust sees $U=0,26\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$:
kondensaadi oht!**





Veeauru kondenseerumise kontroll

- 15cm palksein, $U=0,77\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- 15cm palksein + 5cm soojustus sees $U=0,4\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- 15cm palk + 10cm soojustust sees $U=0,26\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- **15cm palk + 10cm soojustus väljas $U=0,26\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$**



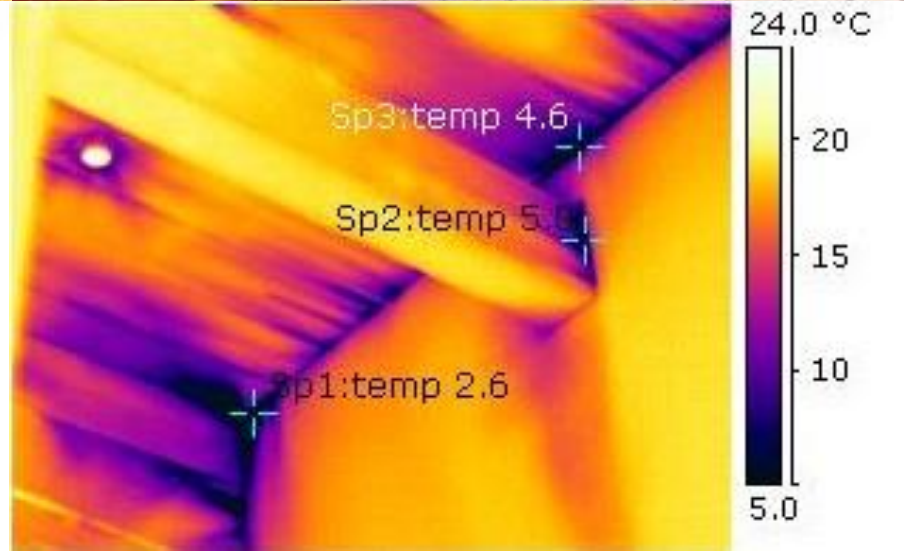
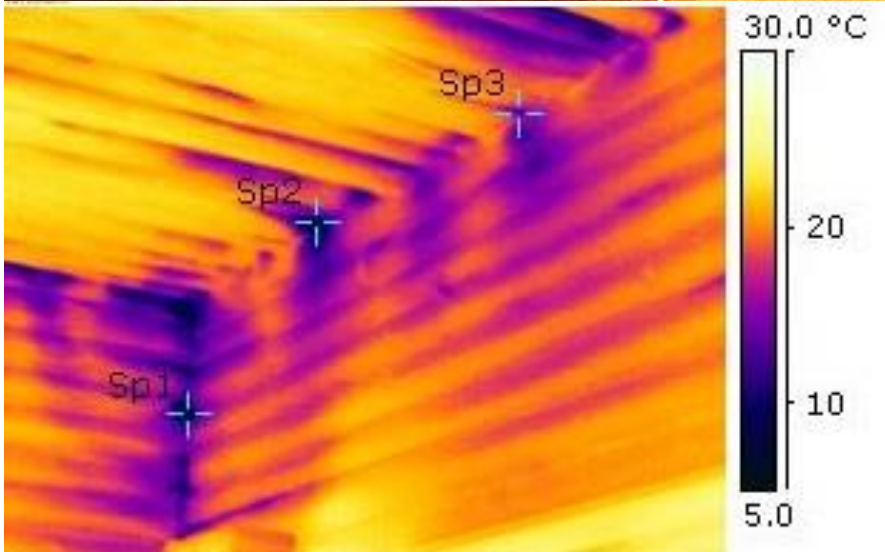


Veeauru difusioon

- Soojustus sees:
 - Kandekonstruksiooni sisepinnatemperatuur on madal: veeauru kondenseerumise oht;
 - Soojustuse sisepinnas peab olema hermeetiline õhu- ja aurutõke.
 - Lahendus on seotud suurte riskidega.
- Soojustus väljas:
 - Niiskustehniliselt turvaline;
 - Kandekonstruksioon on soojas ja kuivas;
 - Korrektset tehes säilib maja välisilme;



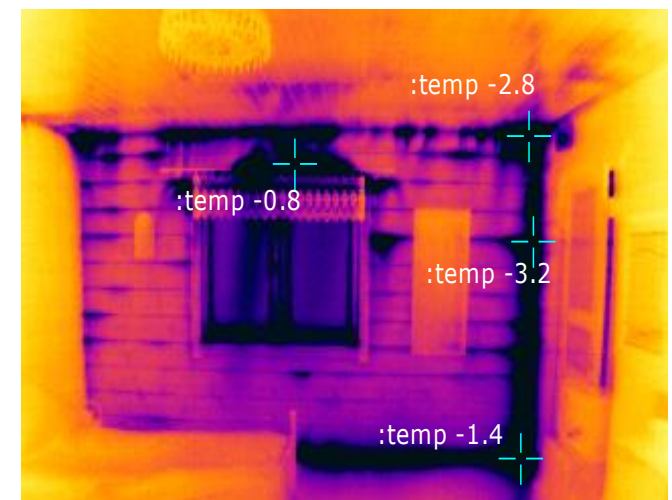
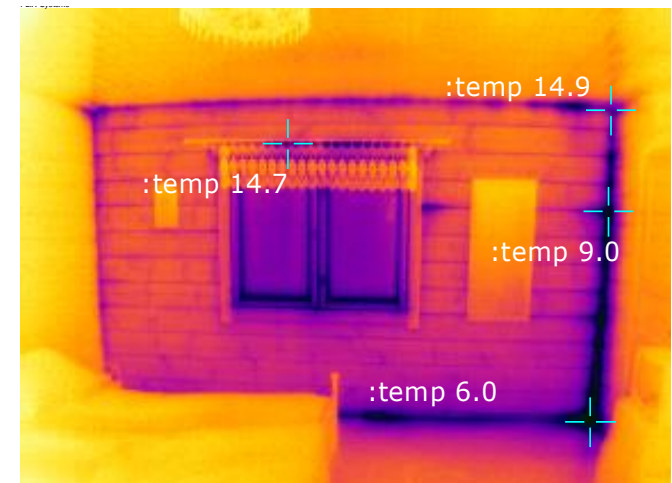
Vana hoone õhupidavus, õhulekete kohad





Sissejuhatus: õhupidavus

- **Hoonepiirete** ebapiisav **õhupidavus** väljendub planeerimatus ja kontrollimatus õhuvoolus läbi pragude ja ebatiheduste hoone piiretes.
- Õhu infiltratsioon ja tema mõju sõltub:
 - hoonepiirete õhupidavusest;
 - lekkekohtade paiknemisest;
 - õhurõhkude erinevusest kahel pool piiret;
 - kasutatavate materjalide omadustest ja
 - kliimatingimustest.





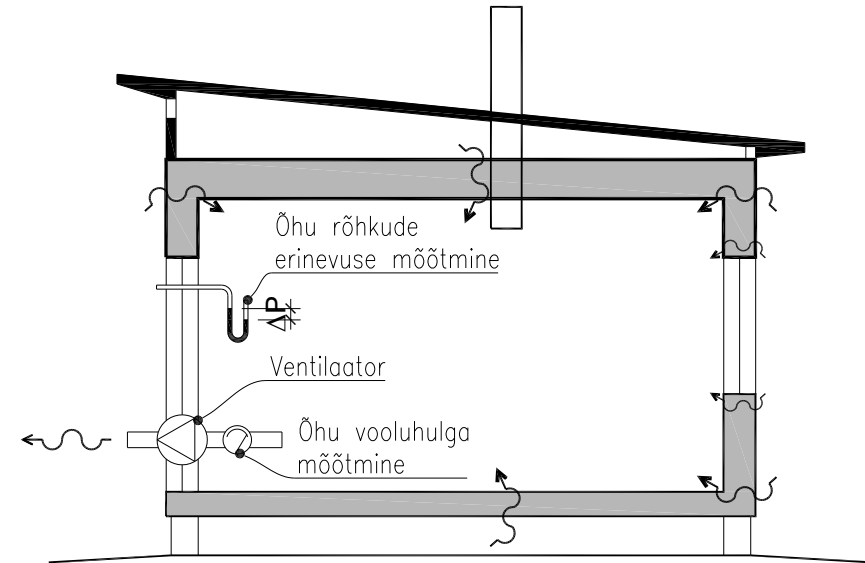
Õhupidavuse mõju

- Hoonete energiatõhusus;
- Niiskustehnilised probleemid, hallituse teke, niiskuse kondenseerumine;
- Hallituse, õhusaaste ja radooni levik põrandaalusest ruumist siseruumidesse, õhusaaste liikumine garaažist või katlaruumist eluruumidesse, ebasoovitavate lõhnade liikumine ruumide vahel;
- Piirdepindade alajahtumine;
- Sisekliima kvaliteet, tuuletõmbus;
- Ventilatsioonisüsteemide toimivus;
- Müraprobleemid;
- Tuleohutus.



Meetodid

- Hoonepiirete õhupidavus
 - õhulekkestest (EVS EN 13829)

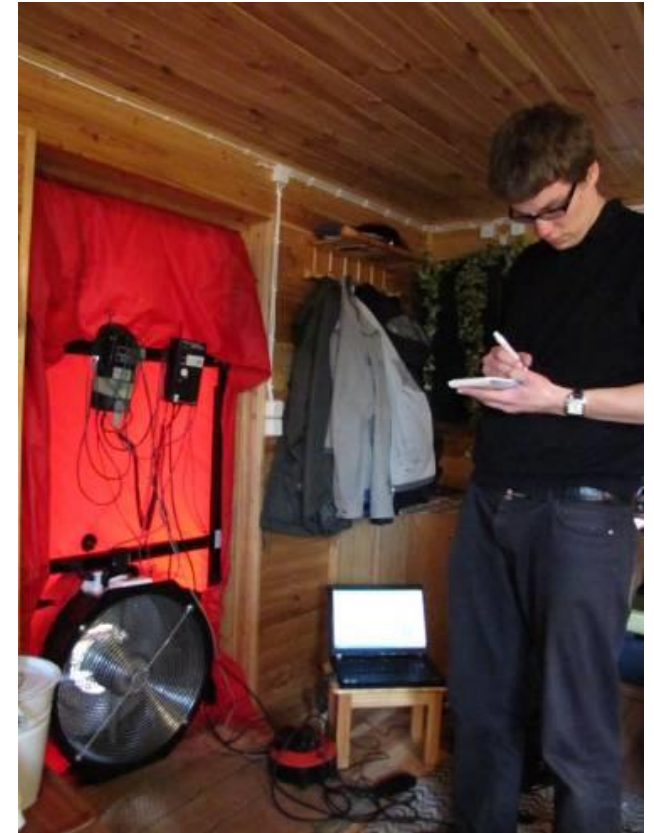
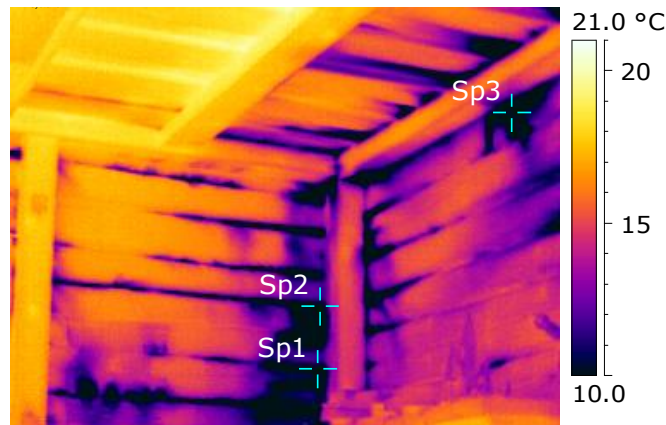


- Lekkeõhu hulk 50Pa juures jagatakse:
 - piirete pindalaga, saadakse õhulekkearv q_{50} , $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$
 - sisekubatuuri, saadakse õhuvahetuskordsus n_{50} : $1/\text{h}$



Meetodid

- Hoonepiirete õhupidavus
 - õhulekkestest (EVS EN 13829)
 - õhulekkekohtade kaardistamine termograafia mõõtmisega

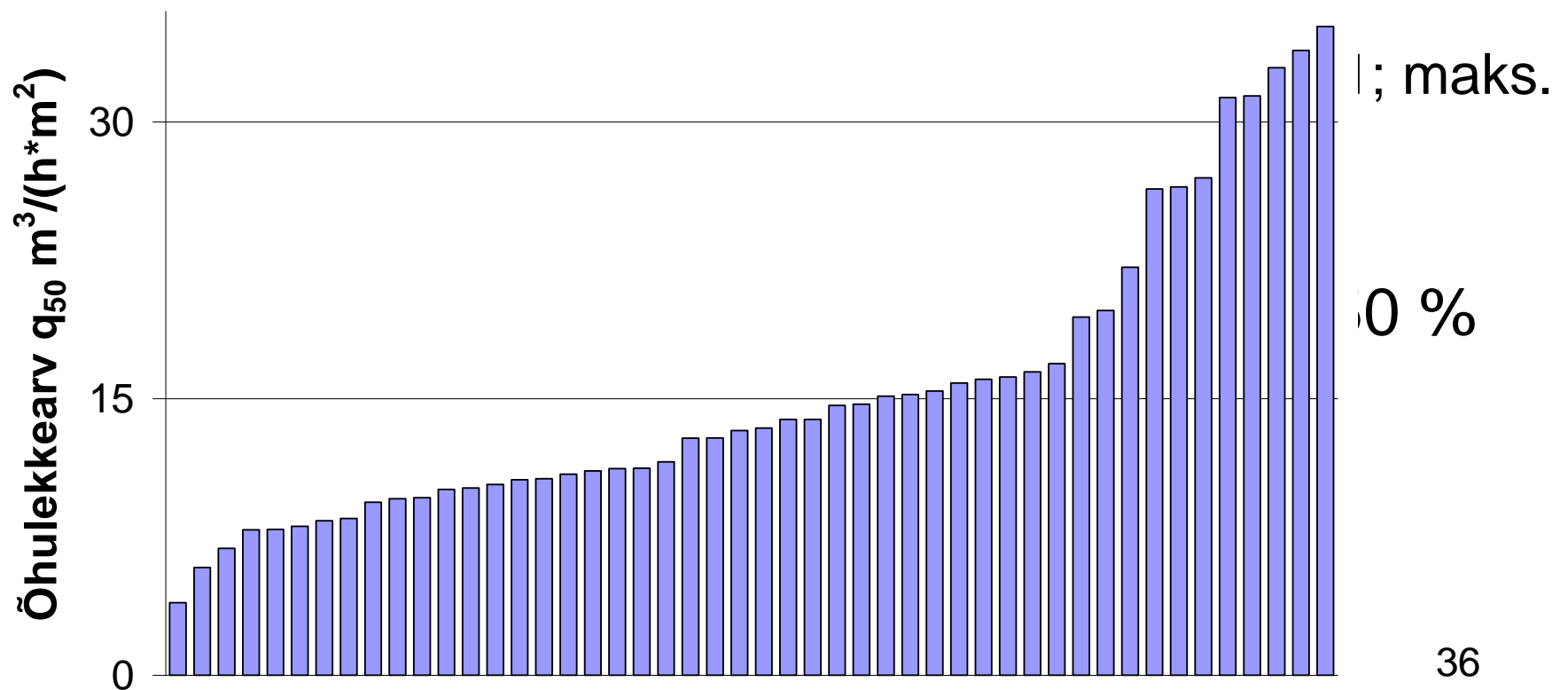


- Hoone välispiirete õhupidavust iseloomustab **õhulekkearv q_{50} $m^3/(h \cdot m^2)$** : õhulekkestiga 50Pa rõhkude erinevusel mõõdetud lekkeõhu vooluhulk välispiirete ruutmeetri kohta.



Õhupidavuse mõõtmistulemused

- Õhupidavust mõõdeti 48 elamus;
- Kõigi mõõdetud elamiseks kasutatud elamute keskmine:
 - õhulekkaarv $q_{50} = 15 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, (min. 3,9; maks.





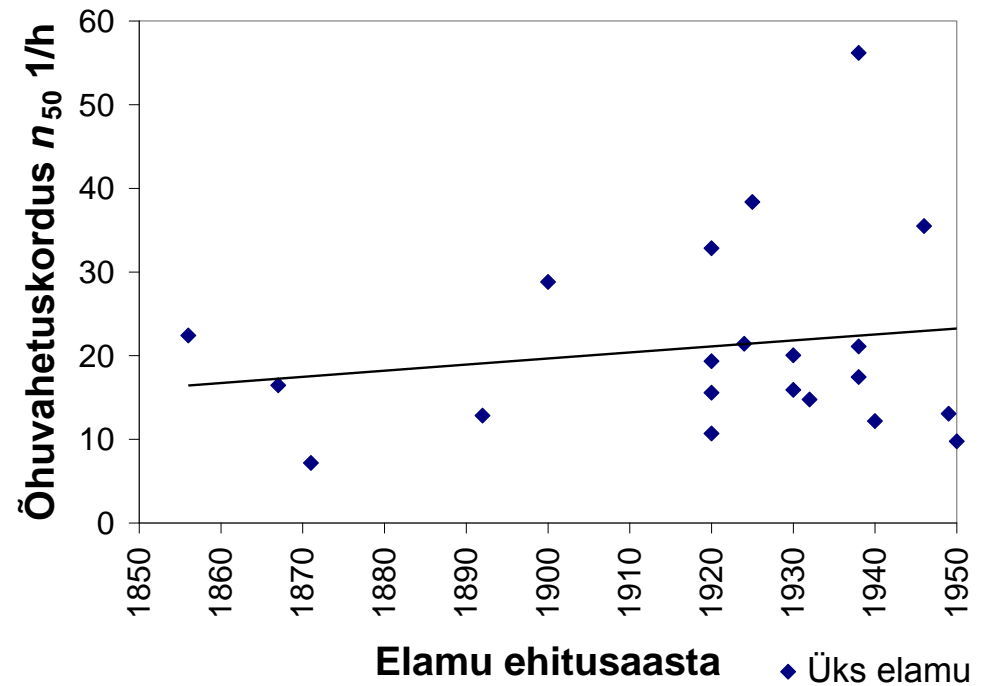
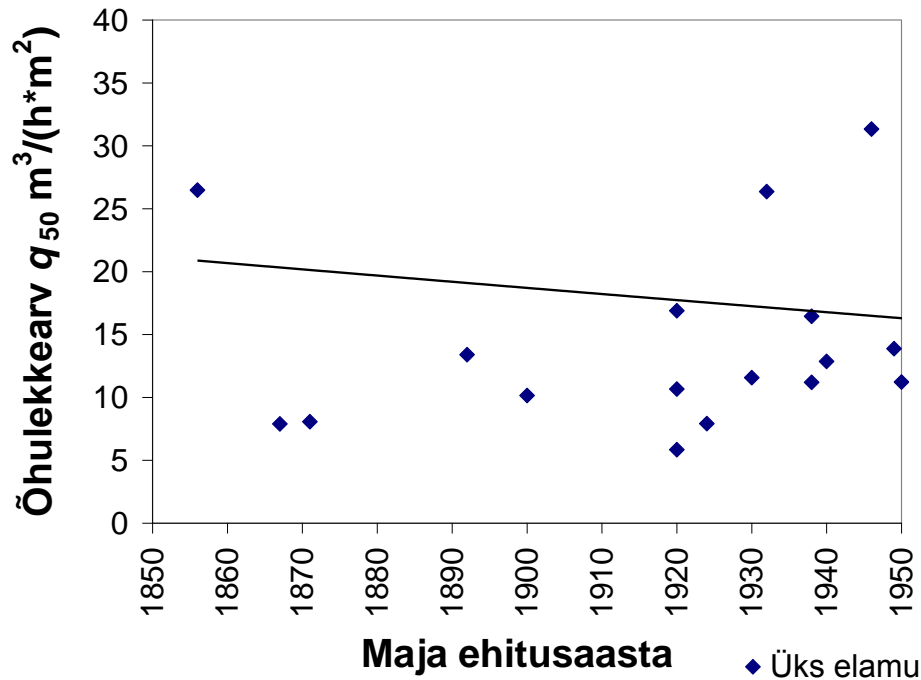
Õhupidavuse mõõtmistulemused

- Õhupidavust mõõdeti 48 elamus;
- Kõigi mõõdetud elamiseks kasutatud elamute keskmine:
 - õhulekkearv $q_{50} = 15 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, (min. 3,9; maks. $35 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$),
 - õhuvahetuvus 50 Pa juures $n_{50} = 22 \text{ h}^{-1}$, (min. 5,1; maks. 56 h^{-1}).
- Energiaarvutusteks kasutatav õhulekkearvu baasväärtus (normaaljaotuse järgse valiku 50 % fraktiili 95 % tõenäosus)
 - õhulekkearv $q_{50} = 17 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$,
 - õhuvahetuvus 50 Pa juures $n_{50} = 25 \text{ h}^{-1}$.



Õhupidavuse mõõtmistulemused

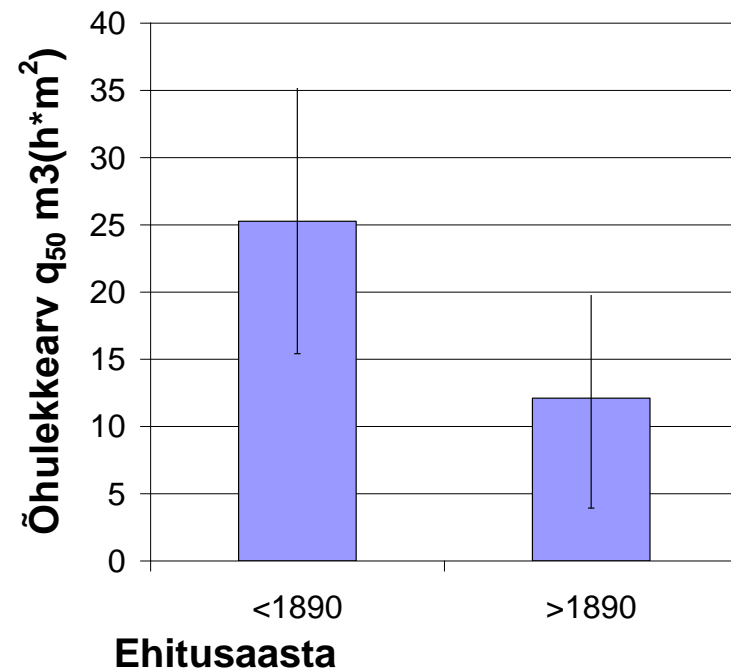
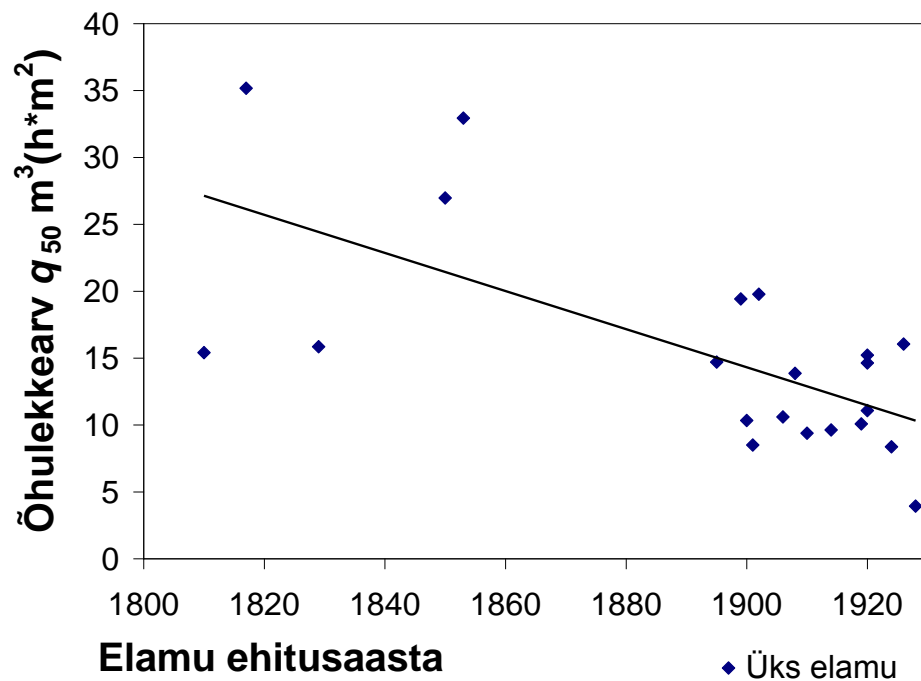
- Hoonepiirete õhupidavus ei sõltu otseselt hoone vanusest





Õhupidavuse mõõtmistulemused

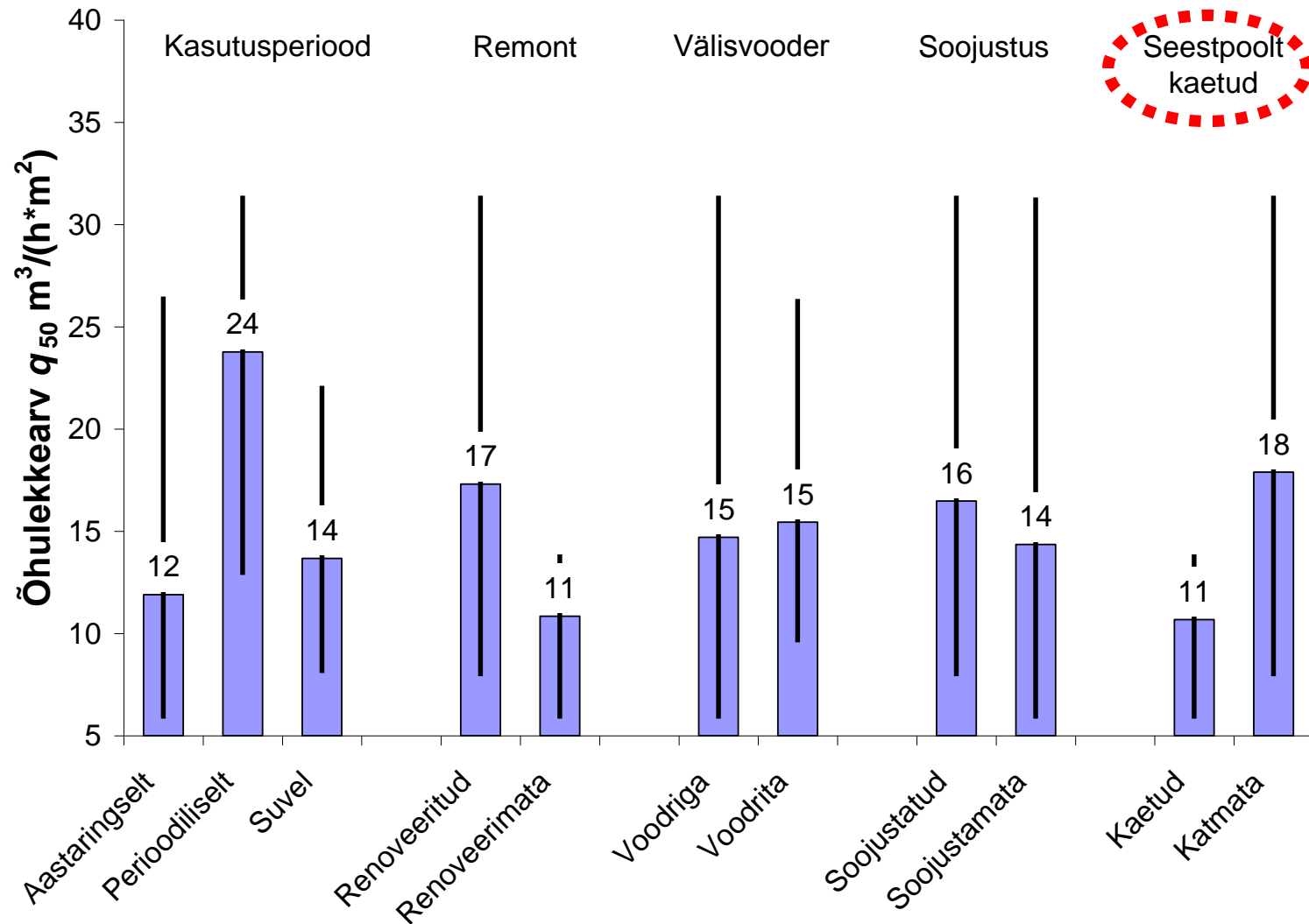
- Hoonepiirete õhupidavus ei sõltu otseselt hoone vanusest
 - v.a. enne 19 saj. ehitatud rehielamud





Õhupidavuse mõõtmistulemused

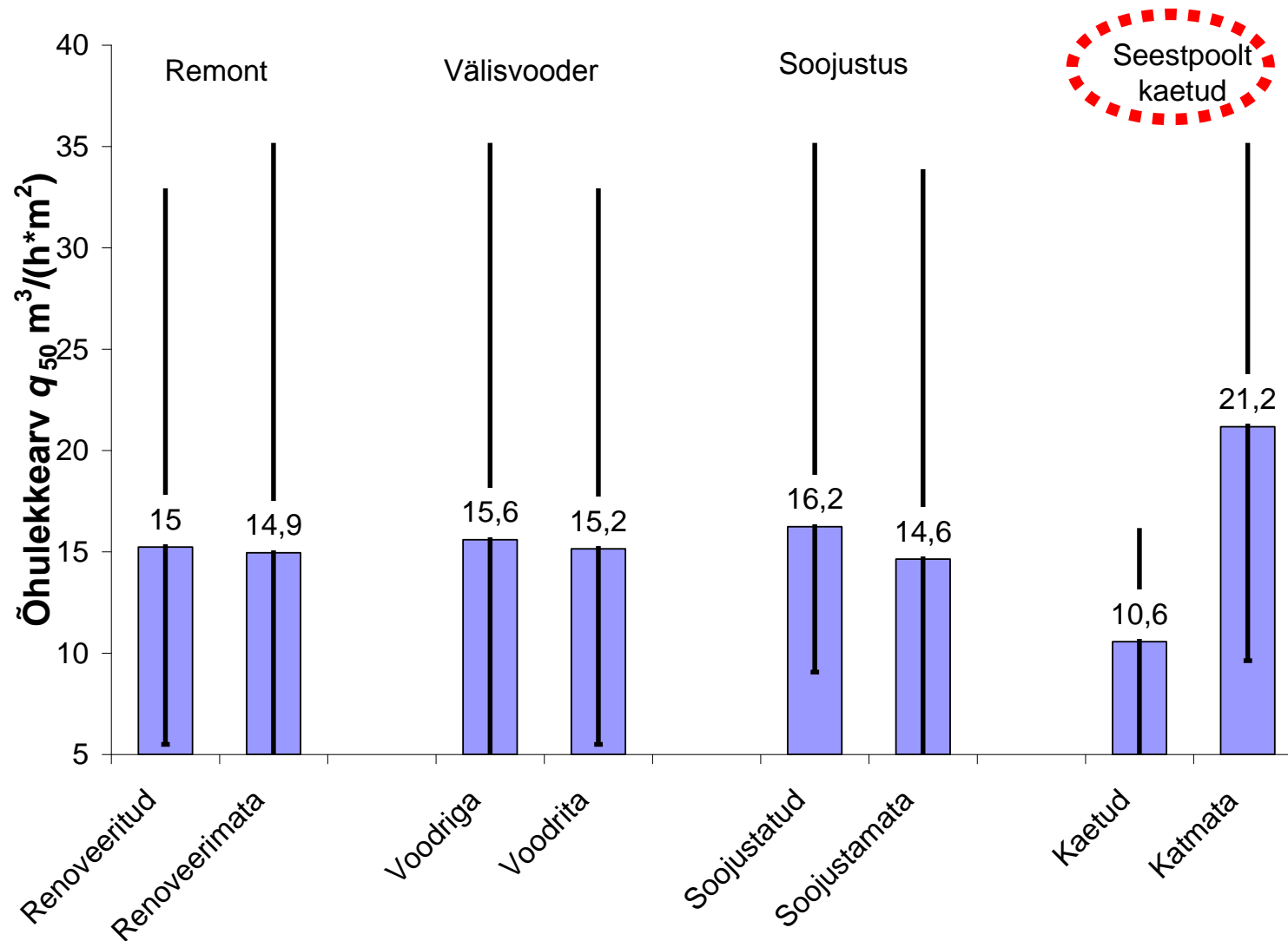
- Palkseina krohvimine või vooderdamine vähendab õhuleket





Õhupidavuse mõõtmistulemused

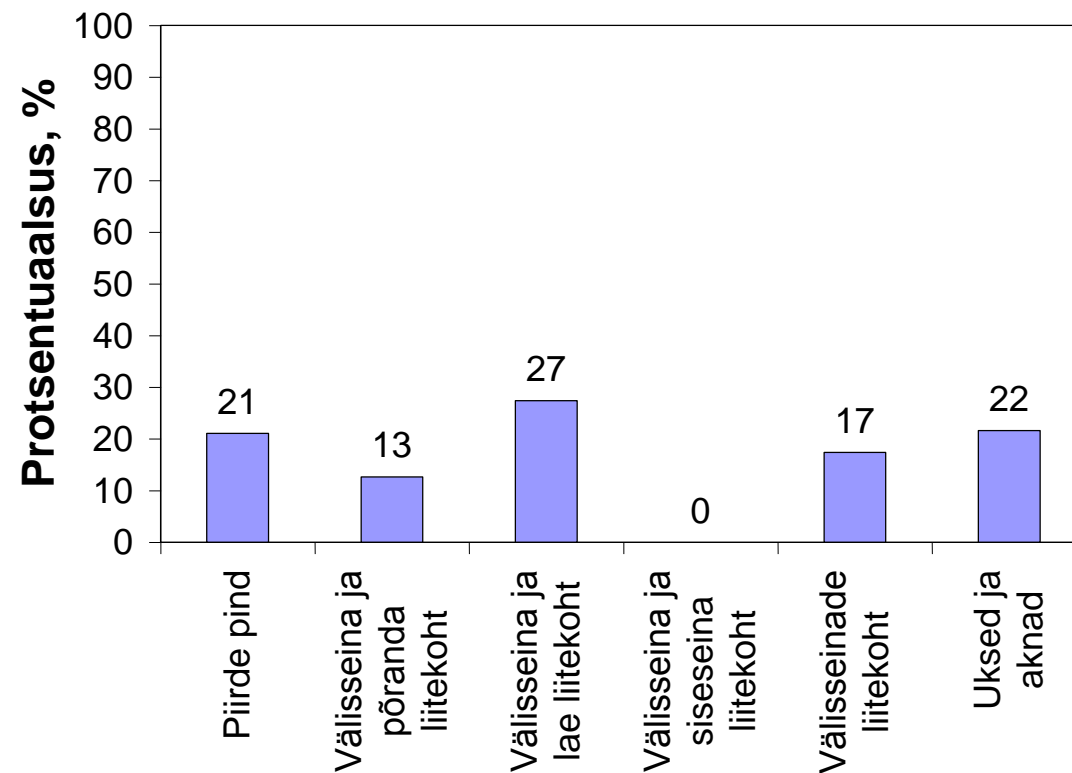
- Palkseina krohvimine või vooderdamine vähendab õhuleket





Õhulekkekohad

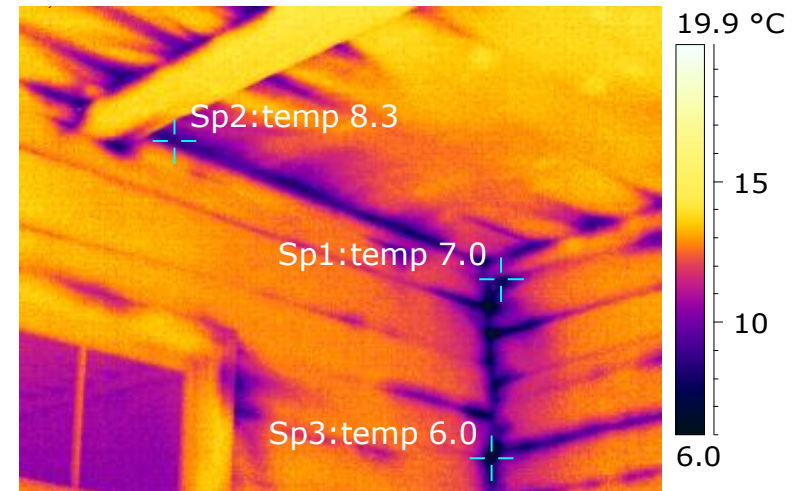
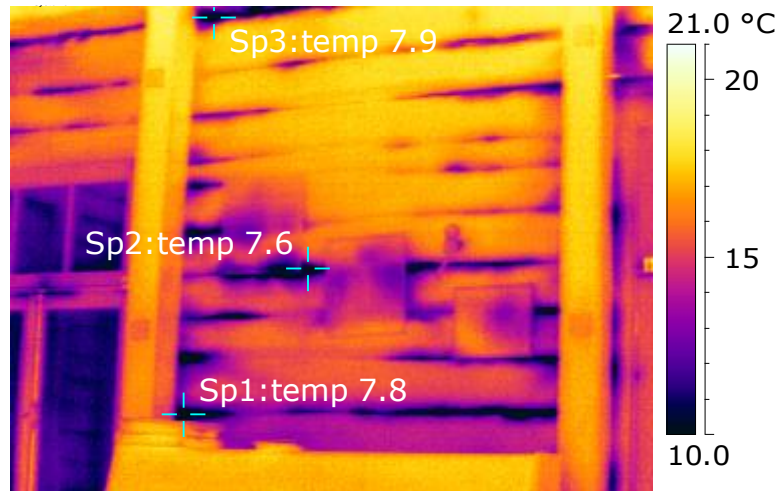
- Peamised õhulekkekohad:
 - laetalade läbiviigid välisseinast,
 - akna- ja ukseleengide ümbrus
 - nurgatapid,
 - palkide vahed seinas.





Õhulekkekohad

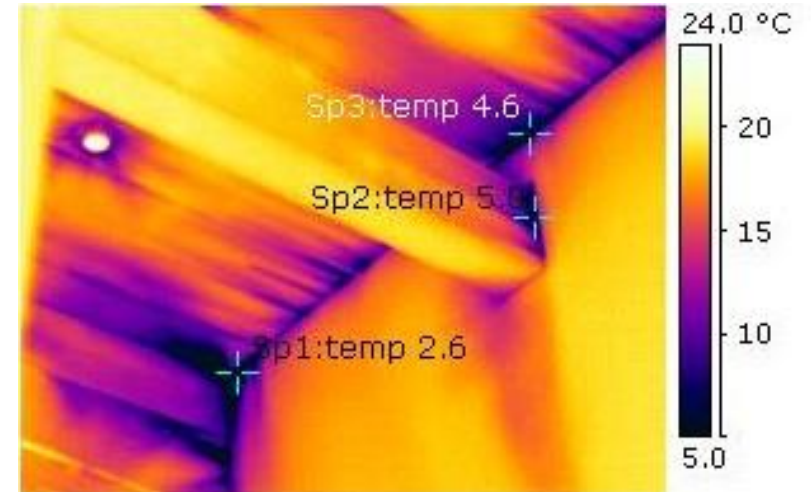
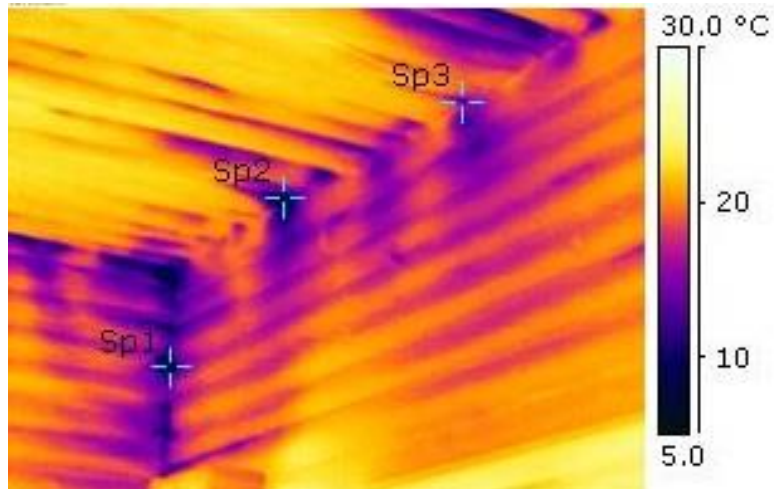
- Õhuleke läbi **seinte ja seinatappide**





Õhulekkekohad

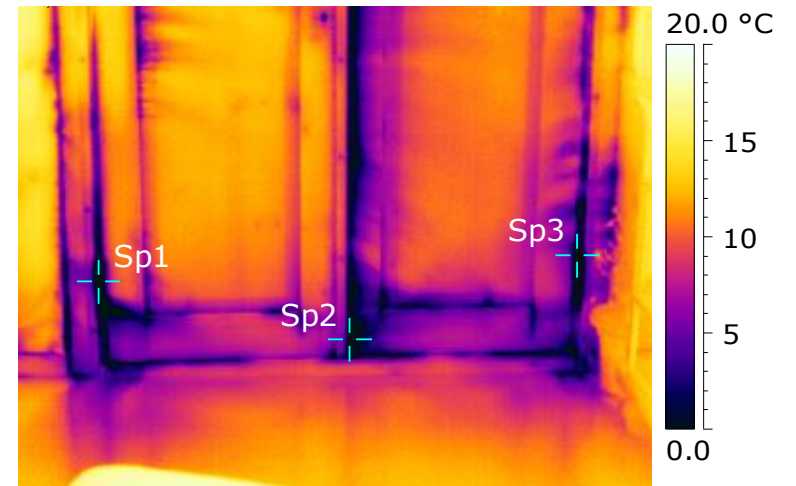
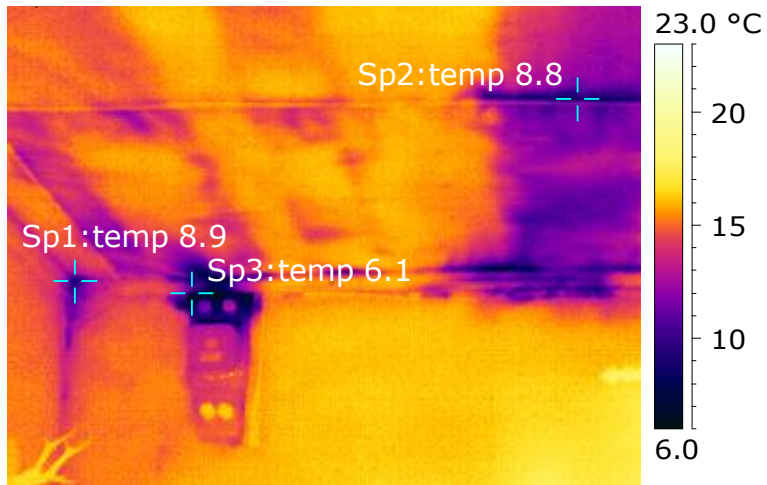
- Õhuleke läbi välisseina ja lae liitekohta





Õhulekkekohad

- Õhuleke läbi välisseintest läbiviikude ja uste-akende





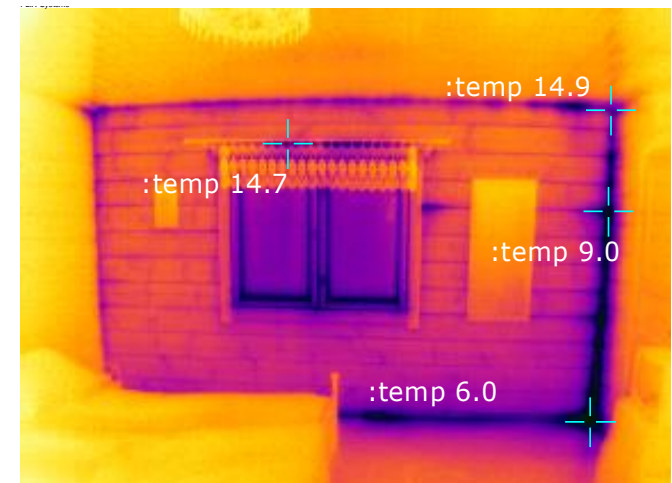
Õhupidavuse kokkuvõte

- Vanemate palkelamute õhuleke on suur $q_{50} = 15...18 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$: energiaarvutustes tuleb see suurem õhuleke eraldi arvesse võtta (üldjuhul renoveeritavatel eramutel $q_{50} = 9 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$)
- Välispiirete õhulekete vähendamine vähendab energiakulu. Koostöös tihendamisega tuleb lahendada ka elamu kontrollitud õhuvahetus (tuulutuspilud ja/või mehaaniline ventilatsioon).
- Keskmiselt ligi kaks korda väiksema õhulekkega olid elamud, mis olid seestpoolt krohvitud (või küllaltki õhutihedalt vineeriga kaetud);
- Elamu vanus, renoveerimine (ehituskvaliteet?) ja välisvooder uuritud elamute põhjal hoonepiirete õhupidavust oluliselt ei mõjutanud.



Lisaks õhuleketele esinevad **külmasillad**

- **Külmasild** on tarindi osa, mille soojusläbivus on lokaalselt suurem ümbritseva tarindi soojusläbivusest.
- Külmasildadega arvestamine on tähtis:
 - Madalam sisepinnatemperatuur ja kõrgem suhteline niiskus võib põhjustada tarindis või tarindi sisepinnal
 - mikroorganismide kasvu,
 - seina määrdumist
 - veeauru kondenseerumist;
 - Madalad pinnatemperatuurid suurtel aladel vähendavad soojuslikku mugavust;
 - Külmasillad suurendavad hoonete energiakulu.





Külmasillad palkelamutes

- Palksein on soojuslikult homogeenne tarind, kus probleemseid konstruktiivseid külmasildasid esineb vähe.
- Peamised külmasilla asukohad paiknevad eelkõige palkseina ja kivitarindite liitekohas:
 - sokli sõlm,
 - korstna läbiviik,
 - palkseina liitumisel kiviseintega,
 - akna liitumine välisseinaga,
 - betoonpõrand, mis on valatud vastu vundamenti.
- Geomeetrilised külmasillad paiknevad välisseina välisnurgas ning akna/ukse ja välisseina liitumiskohas.



Vana palkmaja soojustamise võimalused – kas soojustada seest või väljast





Piirdetarindite soojusläbivus

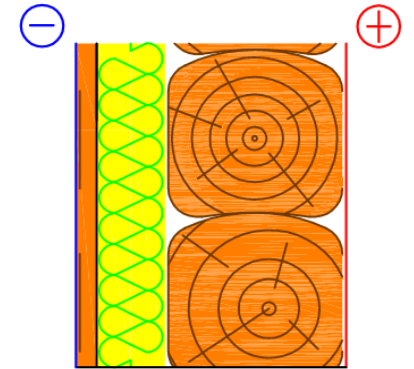
- Otstarbeka soojustuse määramisel lähtutakse
 - hoone energiatõhususe miinimumnõuetest,
 - ehitustehnilistest nõuetest,
 - ruumide soojuslikust mugavusest ($\sim 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),
 - hallituse ning kondensaadi vältimisest külmasildadel, sisepindadel ja tarindites ($\sim 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),
 - majanduslikust otstarbekusest.
- Soojustus peab üldjuhul paiknema **kandetarindist külmemal poolel**, kuna see:
 - tagab kandetarindi püsimise ühtlasel sisetemperatuuril,
 - vähendab oluliselt külmasildade mõju ja
 - on niiskustehniliselt turvaline.



Kas soojustada seest poolt või väljast poolt?

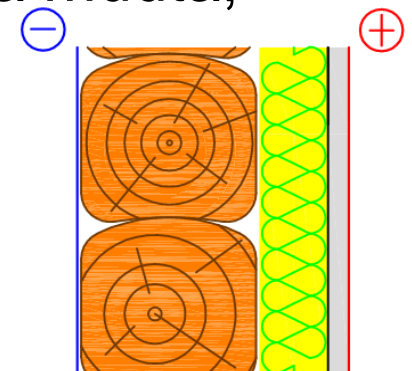
- Väljast poolt:

- + Niiskustehniliselt turvaline;
- + Kandekonstruktsioon on soojas ja kuivas;
- Tuleb lahendada kogu hoone korraga;
- ± Korrektselt tehes säilib maja välisilme, halvasti tehes saab välisilme rikunud;



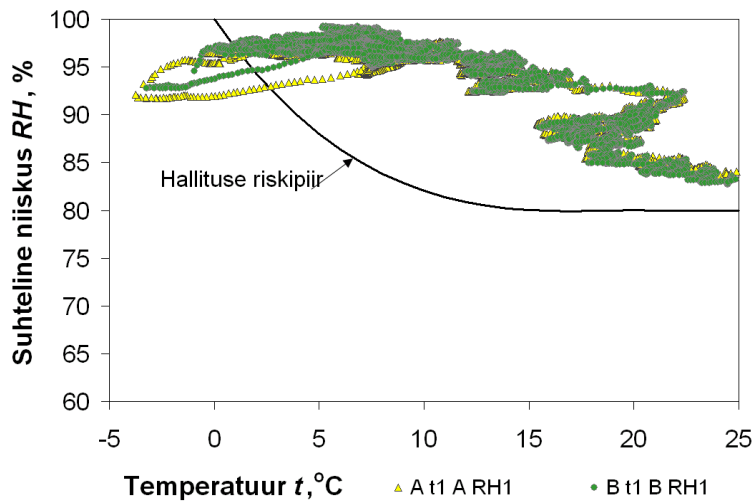
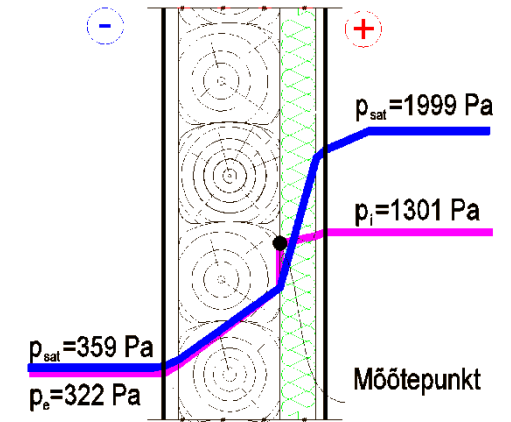
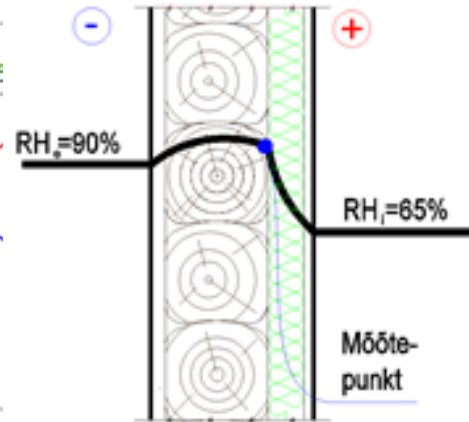
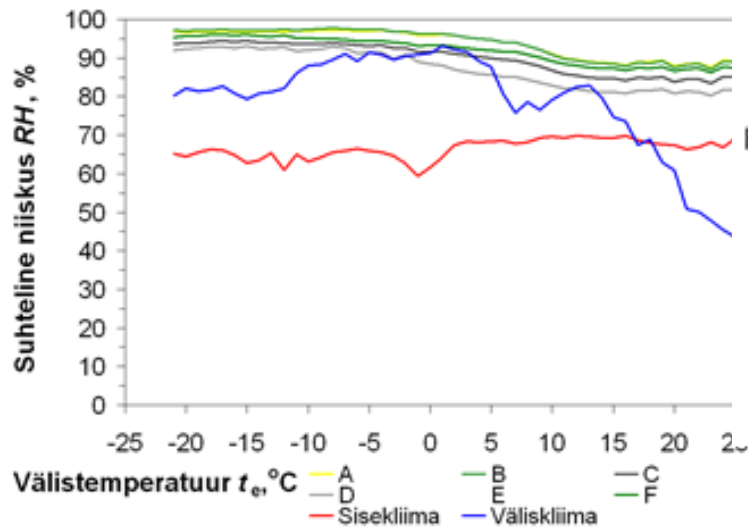
- Seest poolt:

- + Saab teha tubade kaupa, fassaadi ei ole vaja muuta;
- Tekivad külmasillad vaheseinte, vahelagede ja avatäidete juures;
- Madal temperatuur ja kõrge suhteline niiskus palkseina sisepinnal;





Seespoolse soojustamise ohud pole nali!



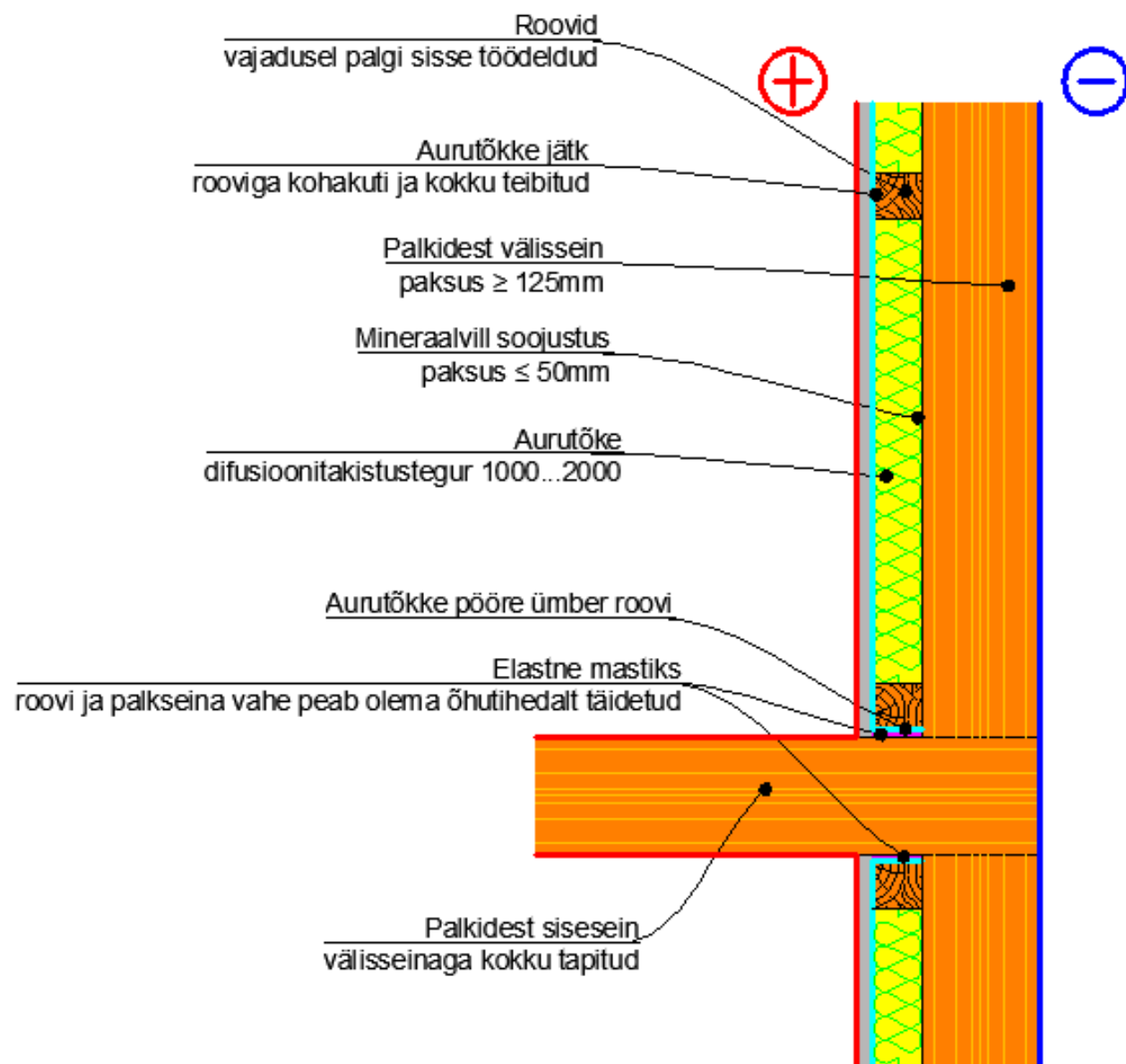
2 aastat peale ehitust avati sein:



Seina kõverusest tulenevalt varieerus soojustuse paksus seinas 50...90 mm vahel



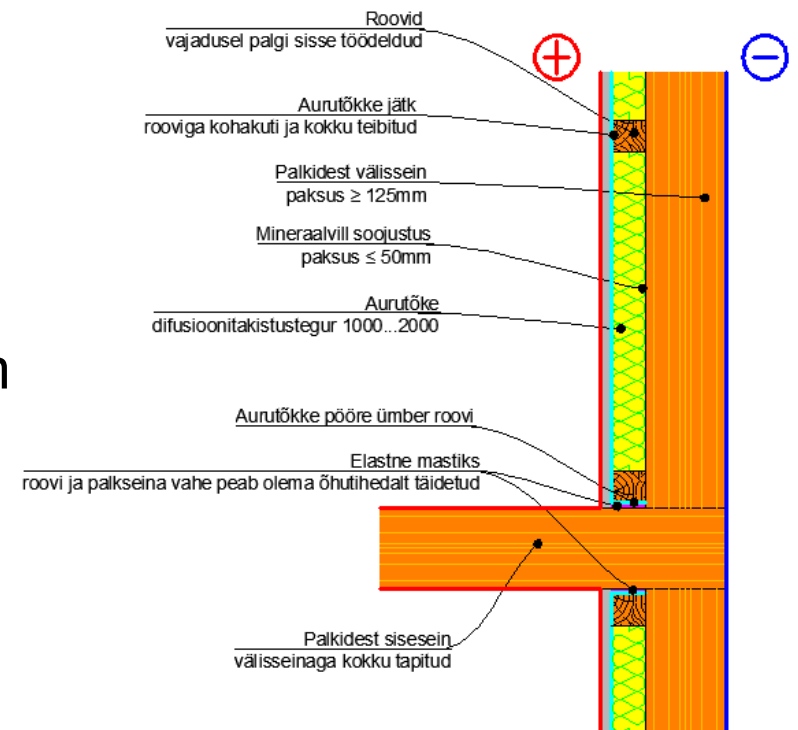
Seespoolse soojustamise lahendus





Seespoolse soojustamise piirangud

- Renoveeritud ja töötav kütte- ja ventilatsioonisüsteem
- Ilma mikrobioloogiliste kahjustusteta palgid (kontrollitud)
- Uus hüdroisolatsioon vundamendi ja palkseina vahel
- Palkide algniiskus renoveerimise ajal alla 14% (16-2% - mõõtmisviga tuleb arvesse võtta);
- soojustustöid alustatakse suve algul pärast 1-2 aastast kütte- (või kasutus-) perioodi (kui palgi tasakaaluniiskus on madalaim);
- Palkseina paksus vähemalt 150mm (seda tuleks vaadelda palkide õhemates kohtades nagu varad);





Seespoolse soojustamise piirangud

- Seespoolse soojustuse maksimaalne paksus maksimaalselt 50mm arvestades seina tasapindsust: reaalsuses (seina kõverus $<1 \dots 3$ cm) arvutuslik paksus 20-40 mm;
- Sobiva veeaurutakistusega aurutõke soojustusest seespool, perioodilise kasutusega elamutel $Z_p = 4 \dots 20 \times 10^9 \text{ m}^2 \text{ s Pa/kg}$, vajalik veeauru takistus tuleks arvutustega igal juhul üle kontrollida;
- Ülekattega ja kokku teibitud aurutõkkekihi liitekohad ja hoolikalt tihendatud aurutõkke ja teiste konstruktsioonide liitekohad;
- Niiskuselisa väiksem kui 5 g/m^3 , jahedamates elamutes veelgi vähem.



Vana palkmaja taastamise planeerimine ja tööde järjekord





Eeltööd

- **Ehitusekspertiisi** käigus:
 - kontrollitakse kande- ja piirdetarindite seisukorda,
 - uuritakse võimalikke kahjustusi ja nende ulatust,
 - selgitatakse välja kahjustuste põhjused ja
 - tehakse ettepanekud olukorra parandamiseks või likvideerimiseks.
- **Energiaauditi** käigus selgitatakse:
 - kuidas kasutatakse energiat,
 - millised on võimalikud energiasäästumeetmed,
 - kuidas saab energiat tõhusamalt kasutada.
- Hoone renoveerimist ja hoone energiatõhususe parendamist on otstarbekas ühendada.



Projekt

- Pärast ehitusekspertiisi ja energiaauditit on õige koostada **renoveerimistöode projekt**.
 - projekt annab aluse tööde teostuse ja kvaliteedi hindamiseks ning selged juhised tööde tegemiseks;
 - projekteerimise käigus saab koostada ja võrrelda erinevaid lahendusi, arvestades energiatõhususe, arhitektuursete, miljööväärtuslike, majanduslike jne. seisukohtadega.
- Projekteeritud lahendused peavad olema nii ehitustehniliselt, kui ka ehitusfüüsikaliselt toimivad.
- Esmajärjekorras tuleb teha korda **hoone põhiosad**.
- Maja sõbralik ja säästev renoveerimine:
 - võimalikult palju säilitada hoonete ajaloolisi väärtusi,
 - sääst seisneb õigesti tegemises ja ümbertegemata jätmises.



Kuidas muuta elamu energiatõhusamaks?

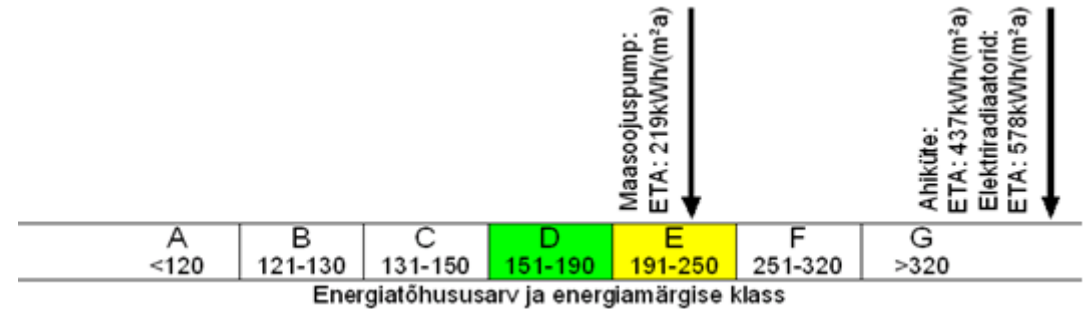
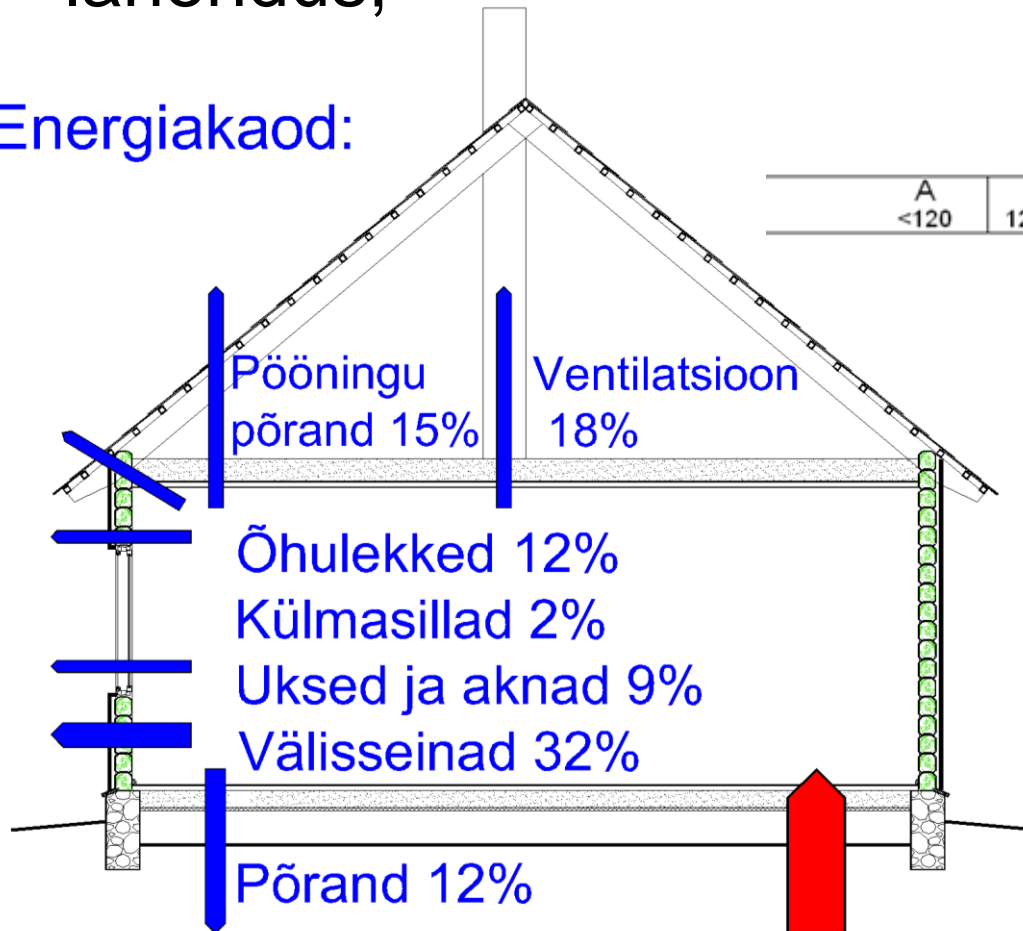
- Olemasoleva elamu energiatõhususe parendamise võimalused
 - hoonepiirete omaduste muutmine
 - soojusläbivuse vähendamine;
 - õhulekke vähendamine;
 - avatäidete omaduste muutmine (aknad-uksed):
 - raami ja klaasiosa soojusläbivuse vähendamine;
 - Tehnosüsteemide paigaldamine/uuendamine:
 - eelkõige soojusvarustus
 - kütte- ja ventilatsioonisüsteemid



Tarnitud energia protsentuaalne jaotus

- Tüüphoone **renoveerimiseelne olukord**;
- Suurimate kadude likvideerimine on otstarbekaim lahendus;

Energiakaod:



Energiaallikad:

- Ruumi küte 59%
- Ventilatsiooniõhu küte 15%
- Päike 9%
- Seadmed 10%
- Valgustus 2%
- Elanikud 5%



Renoveerimismeetmete mõju

Renoveerimismeede	Energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga					
	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%
	Ahiküte		Otsene elekterküte		Maasoojuspump	
Algolukord	437		578		219	
Akende vahetus	400	8	530	8	203	8
Välisseinte lisasoojustamine (50mm+20mm)	365	16	484	16	187	15
Välisseinte lisasoojustamine (100mm+20mm)	353	19	467	19	181	17
Pööningu vahelae soojustamine (200mm)	376	14	497	14	192	13
Soojustagastiga ventilatsioonisüsteem	353	19	465	20	182	17
Akende vahetus või renoveerimine + välisseinte, pööningu vahelae ja põranda soojustamine, õhulekete vähendamine 50%	278	36	369	36	147	33

A
<120

B
121-130

C
131-150

D
151-190

E
191-250

F
251-320

G
>320



Arvutustulemused

- Üksikute komponentide võrdluses annavad kõige suuremat energiasäästu:
 - välisseinte lisasoojustamine; lisasoojustamisel üle 10...12 cm hakkab soojustuse mõju energiakulule vähenema ja maamajadel võib kaaluda piirduda maksimaalselt nimetatud paksusega;
 - hoonepiirete õhulekete vähendamine koos soojustagastiga ventilatsiooni kasutamisega;
 - soojusallika efektiivsuse parandamine; otsese elektrikütte asendamisel soojuspump lahendusega on võimalik vähendada tarbitavat elektrienergia kulu soojuse tootmiseks.



Kokkuvõtteks

- Hoonet on võimalik energiatõhusamaks muuta:
 - hoonepiirete parendamisega
 - tehnosüsteemide parendamisega
- Lahendusi on mitmeid, ainuõiget lahendust ei ole;
- Igal lahendusel on omad riskid, millega tuleb arvestada;



- Erinevatel renoveerimismeetmetel on erinev energiakulu vähenemine, mõju hoone kestvusele, maksumus jne. Renoveerimismeetme lõpliku lahenduse juures tuleb arvestada:
 - hoone turvalisuse ja tervislikkuse tagamine; kasutusohtliku või avariolukorra likvideerimisega;
 - hoone tarindite ja konstruktsioonide kasutusea pikendamist;
 - renoveerimisega saavutatavat energiakulu vähenemist;
 - hoone arhitektuurset välisilmet;
 - maksumust: ehitus, kasutus (energialuku), hooldus

Võimalikud renoveerimislahendused ⇨



Sein

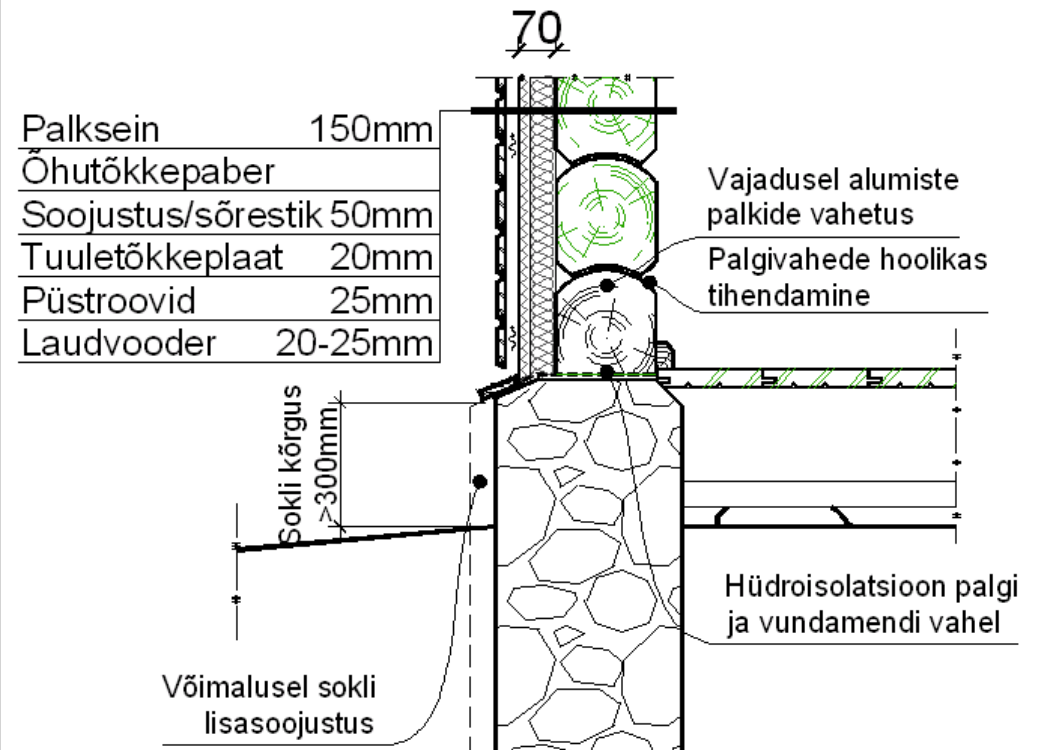
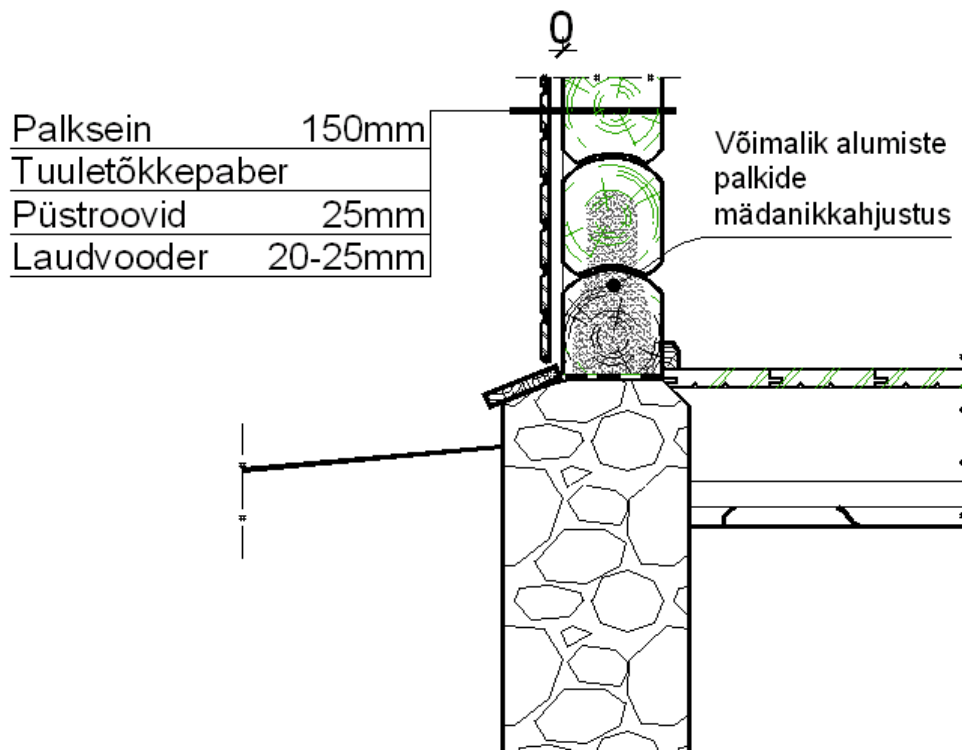
- Lisasoojustust on üldjuhul võimalik panna suuremate probleemideta 5-10cm + tuuletõkkeplaat.





Sein 1: sokkel

- Alumiste palkide vahetus, hüdroisolatsiooni paigaldus, (sokli soojustus);
- Vajadusel hoone ümbruse planeerimine: sokli kõrgus $\geq 30\text{cm}$;
- Palgivahede toppimine;
- Lisasoojustus 50mm + 20mm tuuletõke, uus laudvooder;

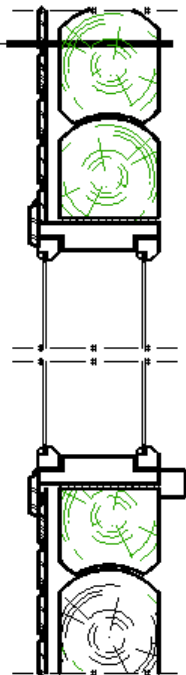




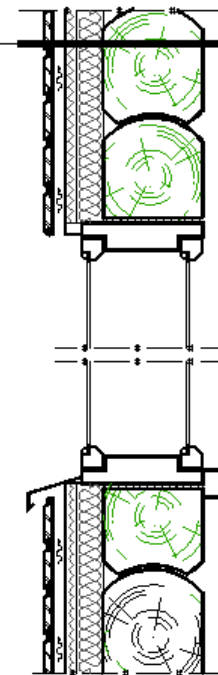
Sein 1: akna liitumine

- Õhema lisasoojustuse korral võib jätta aknad samasse kohta;
- Välisvoodri taga õhuvahe (vihmakaitse, sein kuivamine);
- Aknaplekid, äärelüügid.

Palksein	150mm
Tuuletõkkepaber	
Püstroovid	25mm
Laudvooder	20-25mm



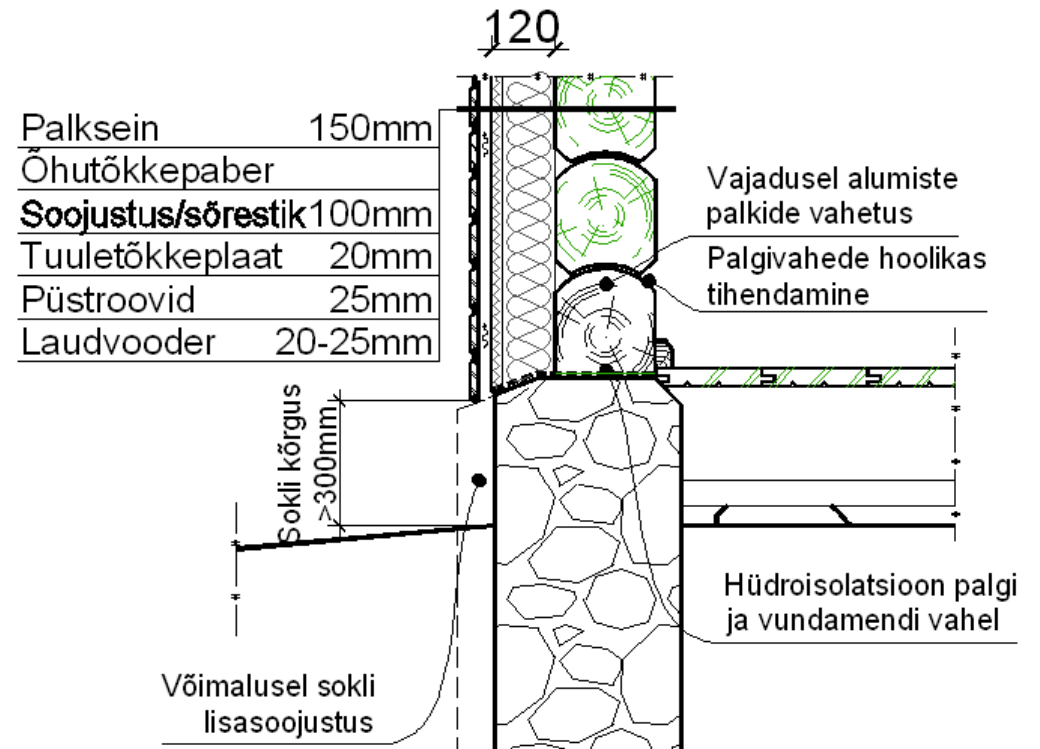
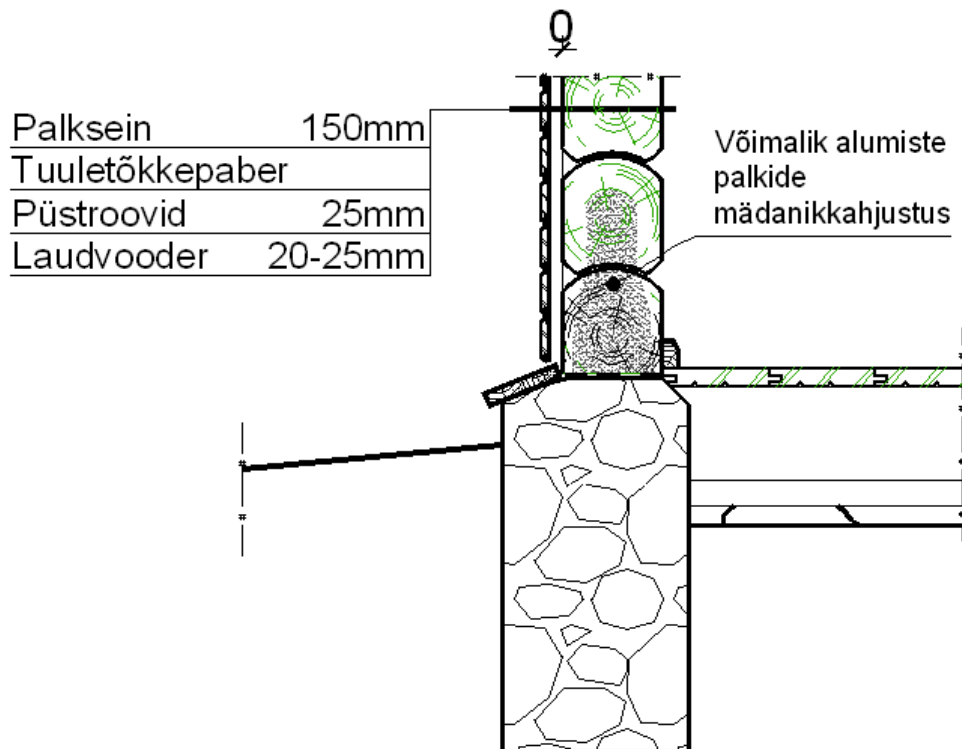
Palksein	150mm
Õhutõkkepaber	
Soojustus/sõrestik	50mm
Tuuletõkkeplaat	20mm
Püstroovid	25mm
Laudvooder	20-25mm





Sein 2: sokkel

- Alumiste palkide vahetus, hüdroisolatsiooni paigaldus, (sokli soojustus);
- Vajadusel hoone ümbruse planeerimine: sokli kõrgus $\geq 30\text{cm}$;
- Palgivahede toppimine;
- Lisasoojustus 100mm + 20mm tuuletõke, uus laudvooder;

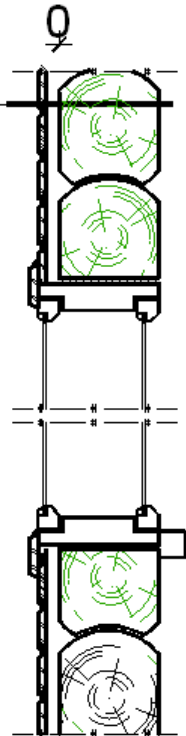




Sein 2: akna liitumine

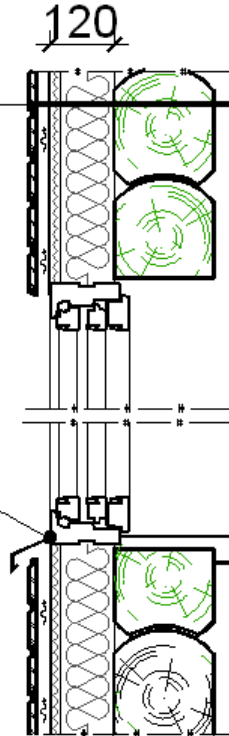
- Paksema lisasoojustuse korral nihuta aknad väljapoole;
- Välisvoodri taga õhuvähe (vihmakaitse, seina kuivamine);
- Aknaplekid, äärelüügid.

Palksein	150mm
Tuuletõkkepaber	
Püstroovid	25mm
Laudvooder	20-25mm



Palksein	150mm
Õhutõkkepaber	
Soojustus/sõrestik	50mm
Tuuletõkkeplaat	20mm
Püstroovid	25mm
Laudvooder	20-25mm

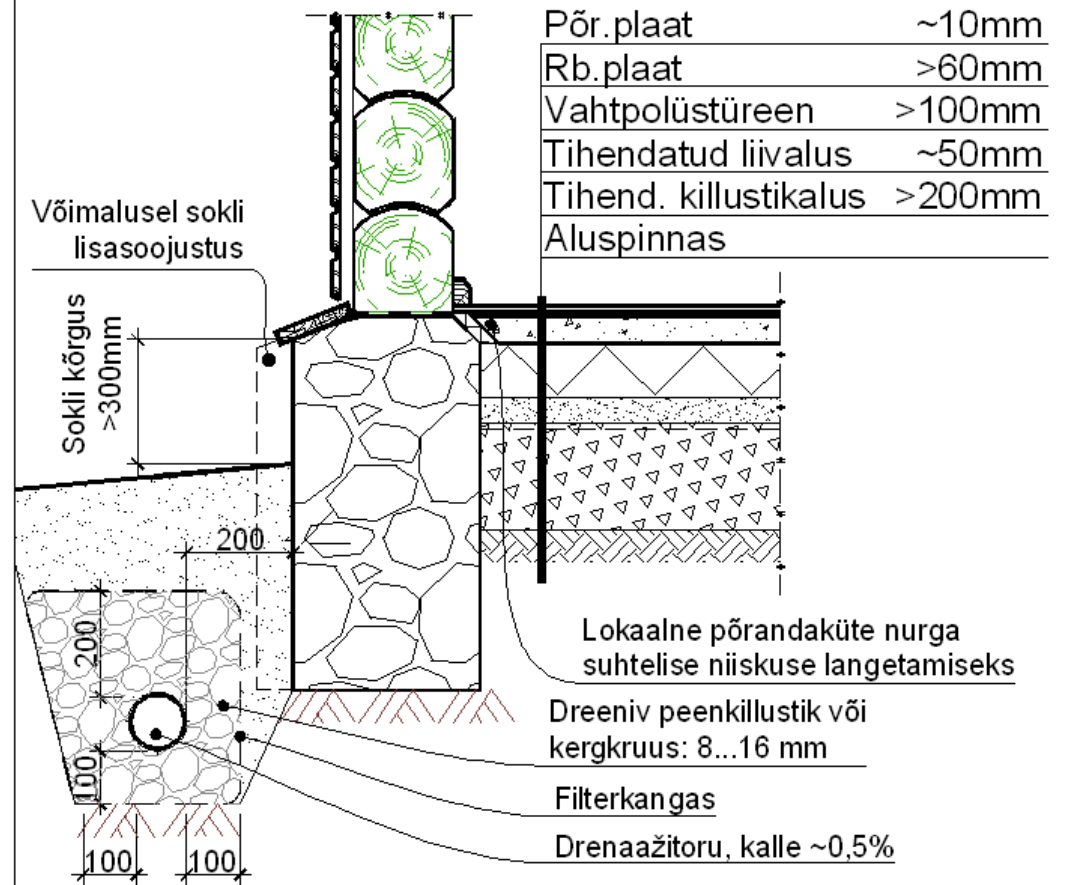
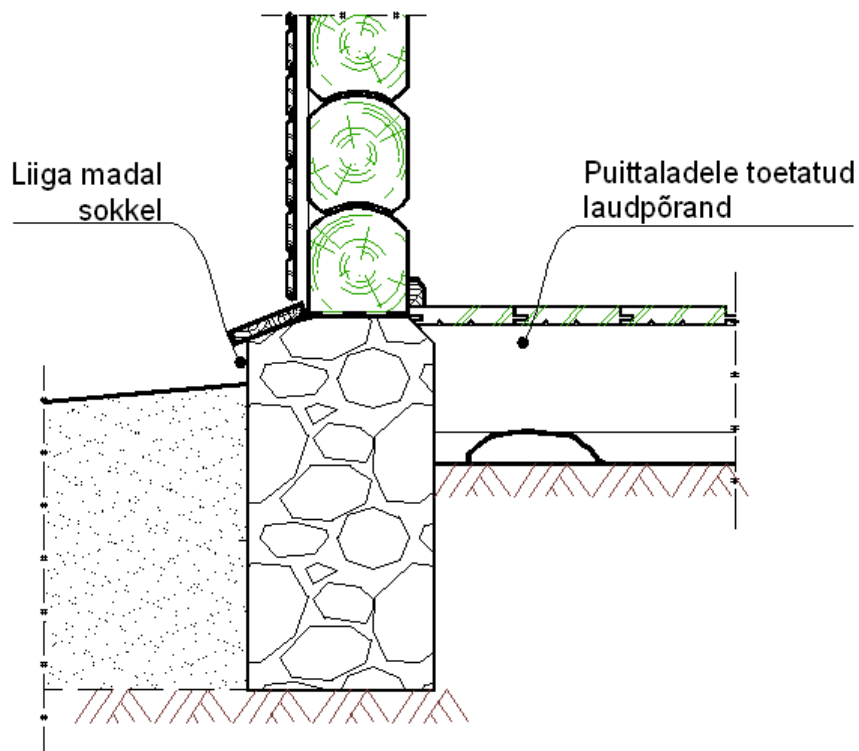
Paksema soojustuse korral nihutada aknad väljapoole





Põrand 1: kivipõrand

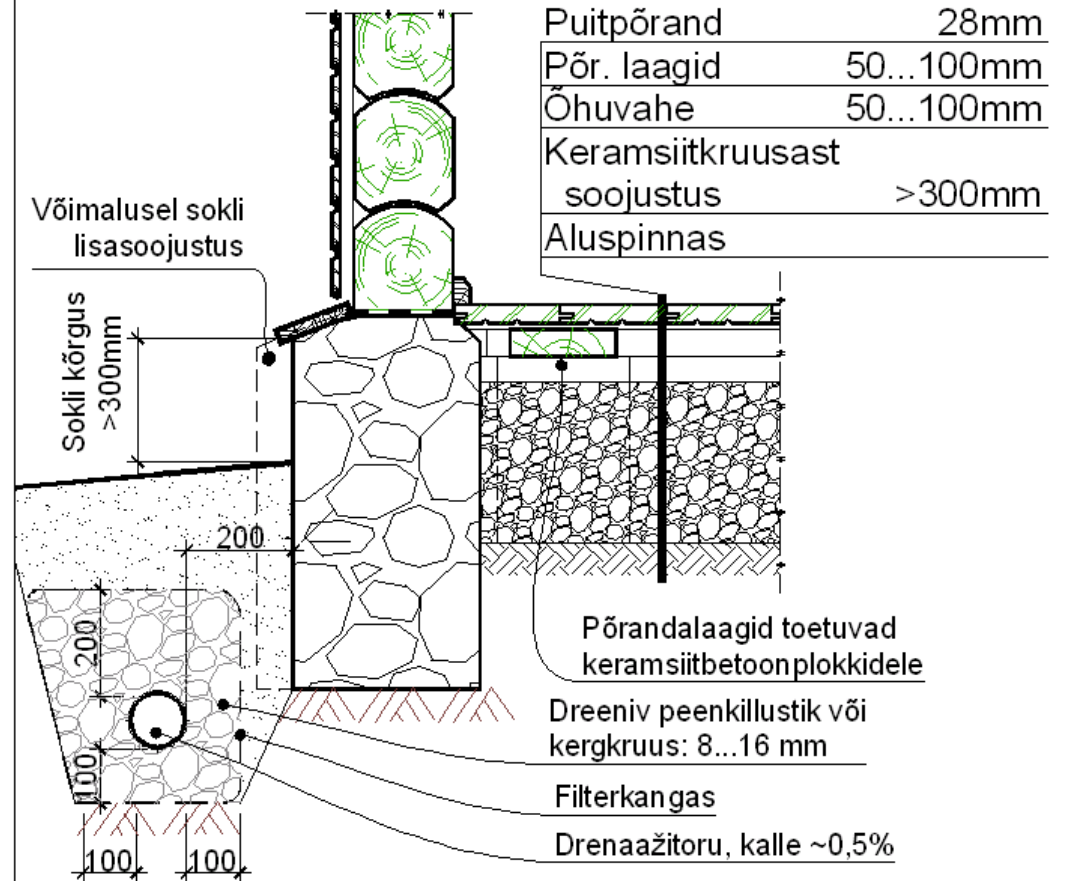
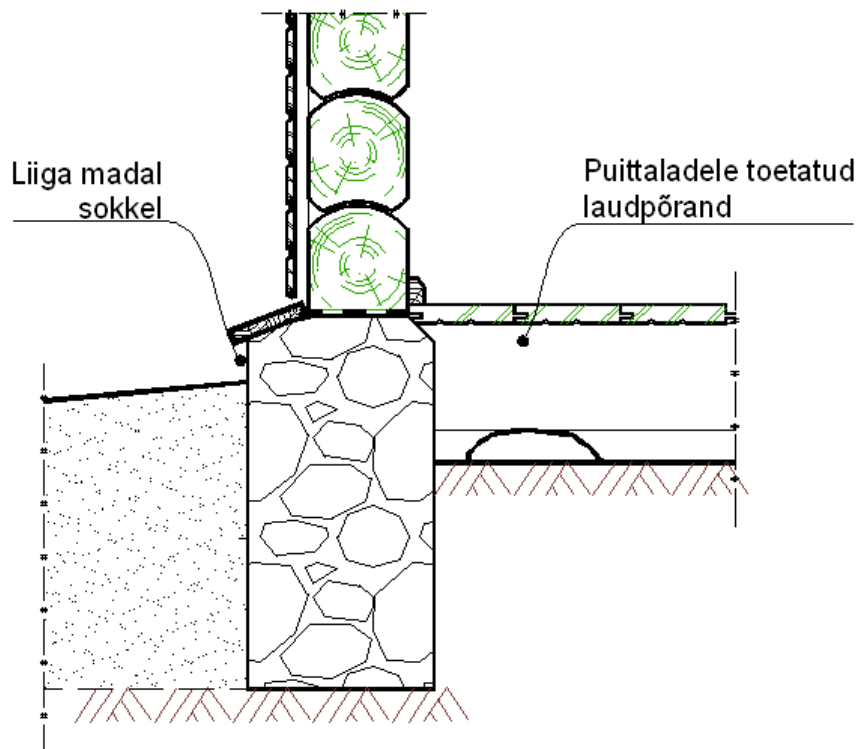
- Süvistada, et saaks põranda alla teha kruusast või killustikust kapillaartõkke 20-25cm. Vajadusel rajada drenaaž;
- Soojustus 10-15cm (põrandakütte korral 20cm) + raudbetoonplaat





Põrand 2: laagidel puitpõrand

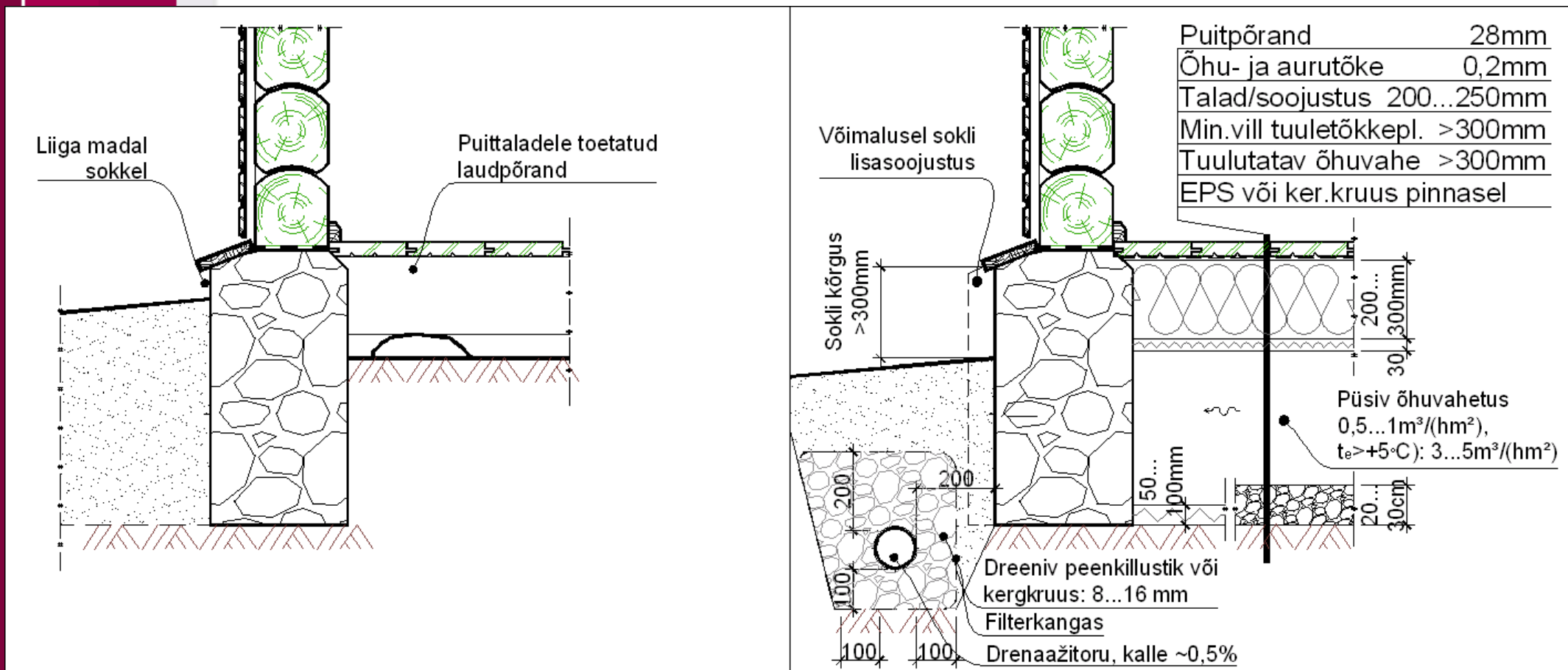
- Süstada, et saaks põranda alla teha keramsiitkruusast kapillaartõkke ja soojustuse kihi >30cm;
- Puitlaagid toetuvad keramsiitplokkidele;





Põrand 3: taladel soojustatud puitpõrand

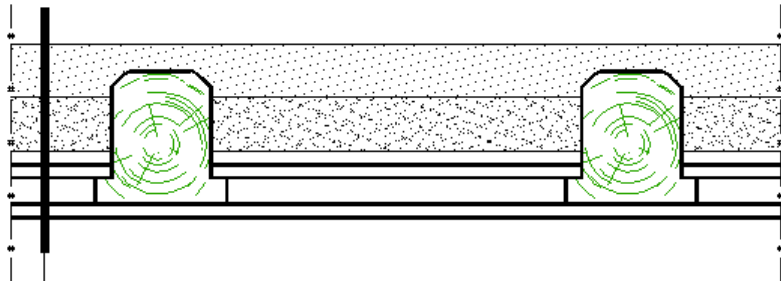
- Süvistada, et saaks põranda alla teha õhutusvahe $>30\text{-}40\text{cm}$;
- Aluspinnas soojustatud $5\text{-}10\text{cm}$ vahtpolüstüreen, $20\text{-}30\text{cm}$ ker.kruus;
- Põrandaalune välisõhuga tuulutatav: $0,5\text{...}1\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, $t_e > 5^\circ\text{C}$: $3\text{...}5\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$



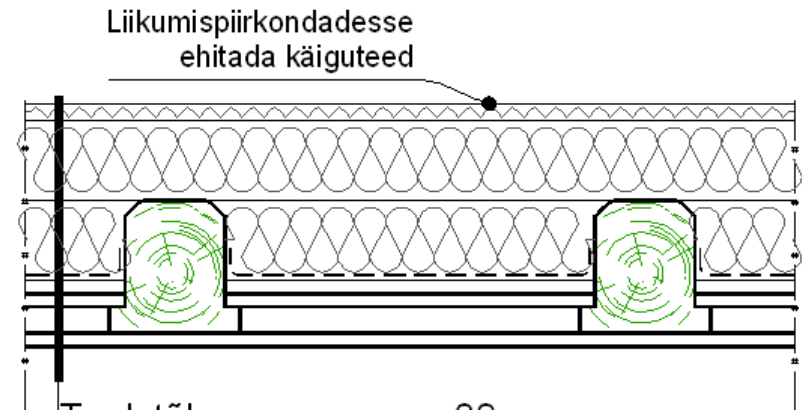


Pööningu vahelagi 1: vana laelaudis

- Olemasoleva liiva ja saepuru eemaldamine pööningu poolt;
- Õhu-aurutõkke paigaldus muldlae laudisele;
- Soojustus 30...50cm talade vahele ja peale;
- Käiguteed pööningul liikumiseks.



Liiv, saepuru	~200mm
Muldlae laudis	2x25mm
Õhuvähe	~30..50mm
Laelaudis	~25mm

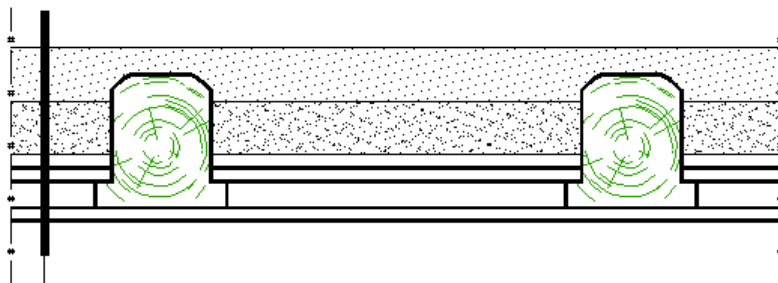


Tuuletõke	30mm
Soojustus	300mm
Auru-õhutõke	
Muldlae laudis	2x25mm
Õhuvähe	~30..50mm
Laelaudis	~25mm

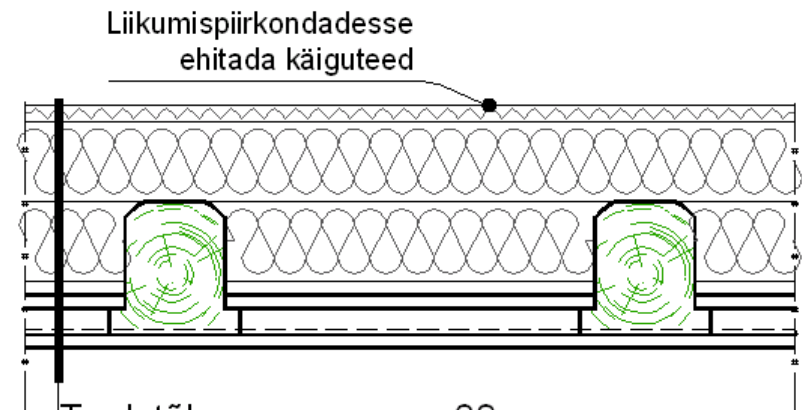


Pööningu vahelagi 2: uus laelaudis

- Olemasoleva liiva ja saepuru eemaldamine pööningu poolt;
- Laelaudise (ja muldlae laudise) eemaldamine;
- Õhu-aurutõkke paigaldus laetalade alla;
- Soojustus 30...50cm talade vahele ja peale;
- Käiguteed pööningul liikumiseks.



Liiv, saepuru	~200mm
Muldlae laudis	2x25mm
Õhuvähe	~30..50mm
Laelaudis	~25mm



Tuuletõke	30mm
Soojustus	300mm
(Muldlae laudis)	2x25mm
Õhuvähe	~30..50mm
Auru-õhutõke	
Uus laelaudis	~25mm



Kokkuvõte

- Energiakulu analüüs, ehitustehniline ekspertiis, projekt
- Õhulekkekohtade ning külmasildade tuvastamine ja likvideerimine
- Lisasoojustus kandekonstruktsioonist üldjuhul väljapoole (*puitseina seest mitte üle 3-5cm + korralik õhu-aurutõke*)
- Lisasoojustamise korral tuleb aknad nihutada väljapoole (*lisaks sokli, räästa jne lahendused üle vaadata*)
- Otsi ka teisi energiasäästu võimalusi: *küte, ventilatsioon, tarbeelekter, soe vesi, valgustus.*
- Ehitustehniline, arhitektuurne ja vajadusel muinsuskaitse järelevalve.



Lõpetuseks

Kasulikud lingid

- <http://helthproject.eu/et>
- www.vanaajamaja.ee/files/Raport.pdf
www.kredex.ee/public/TTY_maelamu.pdf
- www.kredex.ee/public/TTY_Puitelamute_uuring.pdf