

TAL TECH

PUITTARINDITE RENOVEERIMINE KAASAEGSETE ISOLATSIOONIMATERJALIDEGA

PRIIT RANNIK, MSc,
Diplomeeritud arhitekt (tase 7.)

Eesti vabaõhumuuseum 31.05.2023



build 
 **EST**

TARTU
ringrenoveerimine 

Koolituse sisu

- 12:00 – 12:45 – Piirdetarinditele esitatavad nõuded ning mõjuvad kliimakoormused. Ülevaade olemasolevate puithoonete tüpoloogias ning peamistest renoveeritavatest piirdetarinditest, sealhulgas hinnang renoveerimisvajadusele. Lektor Priit Rannik.
- 12:45 – 13:30 – Uudsed ehitusmaterjalid (PU plaadid, vahud, XPS, kiirgust isoleerivad) versus niinimetatud ökolahendused; ehitusdetailid (külmasilla katkestused, akna kinnitid, teibid ja muu taoline) ja lisasoojustamise lahendused. Lektor Priit Rannik
- 14:00 – 14:45 – Puittarindite lisasoojustamise lahendused uudsete materjalidega, eelkõige vahtisolatsioonid. Lektor Simo Ilomets.
- 14:45- 15:30 – Näiteid toimivatest ja riskantsetest tarinditest, toimivuse hindamise kriteeriumid. Eelprojektis, põhiprojektis ja tööprojektis vajalik detailsus ning info valitud materjalide kohta lõpptulemuse õnnestumiseks. Lektor Simo Ilomets

EHITISTELE ESITATAVAD (PÕHI)NÕUDED (EHS §11)

- REGULATION (EU) No 305/2011 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 9 March 2011

- Mehaaniline vastupidavus ja stabiilsus
- Tuleohutus
- Hügieen, tervis, keskkond,
- Kasutamise ohutus ja juurdepääs
- Kaitse müra eest
- **Energiasäästlikkus ja –tõhusus**

Ehitised ning nende kütte-, jahutus-, valgustus- ja ventilatsiooniseadmed peavad olema projekteeritud ja ehitatud nii, et nende kasutamiseks vajaminev energiakogus on väike, arvestades kasutajaid ja asukoha kliimatingimusi. Ehitised peavad olema ka energiatõhusad, kasutades nende ehitamise või eemaldamise ajal võimalikult vähe energiat.

- **Loodusvarade säästev kasutamine**

Ehitised peavad olema projekteeritud, ehitatud ja lammutatud nii, et loodusvarasid kasutatakse säästvalt ning eelkõige on tagatud järgmine:

- a) ehitiste, nende materjalide ja osade korduskasutamine või ringlussevõetavus pärast lammutamist;
- b) ehitiste vastupidavus;
- c) keskkonnasõbraliku tooraine ja teisese materjali kasutamine ehitistes.

Arhitektuur

*3+1 architects



*Domofoto



Energiatõhusam hoone -> suurem niiskuskahjustuste risk (U , q_{50})
Uued (kerge)tarindid ja (aurutihedad)materjalid

Arhitektuur

Opvius / EnBauSa.de



<http://www.tnorays.ee/tehtud-tood/enne-2015>



Energiatõhusam hoone -> suurem niiskuskahjustuste risk (U , q_{50})
Uued (kerge)tarindid ja (aurutihedad)materjalid

Tarindile esitatavad nõuded

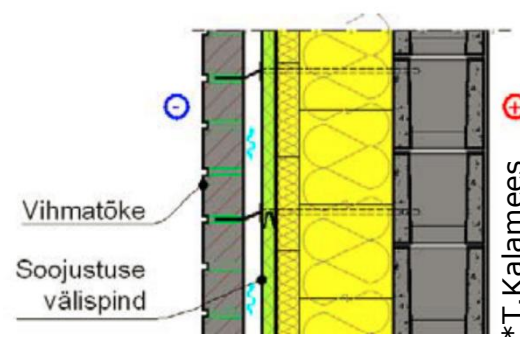


- Tarindile esitatavad nõuded?
- Defineerida, milline kiht millist nõudet täidab, nt õhupidavus poorbetoon- vs keramsiitbetoon müüritisel

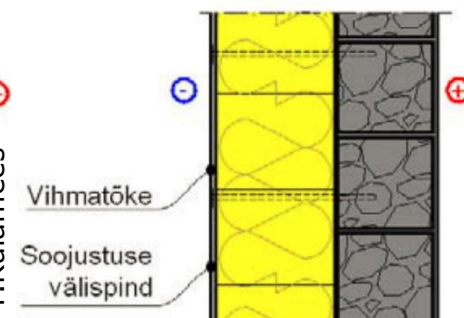
Piirdetarindile esitatavad nõuded

<https://nouded.rkas.ee/uldehitus> pt. 2.3:

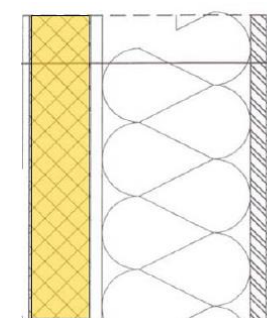
- ennetama piirde märgumisest tulenevaid kahjustusi;
- rakendama meetmeid piirete kuivamise parandamiseks;
- vältima liigniiskuse mõjul materjalide lagunemist;
- vältima mikrobioloogilist kasvu (hallitus, bakterid, vetikad) ja veeauru kondenseerumist nii piirete pinnal kui nende sees;
- tagama nõutava sooja-, heli- ja õhupidavuse



Välise tuulutusvaheta müüritis – kõige töökindlam



Välise tuulutusvaheta müüritis – keskmine töökindlus



Välise tuulutusvaheta sõrestiksein – kõige väiksem töökindlus, ei tohi projekteerida

- Ehitisele/tarindile esitatavad nõuded tulenevad Ehitusseadustik §11, lg. (2) - Euroopa Parlamendi ja nõukogu määruse (EL) nr 305/2011

Mida arvestada seoses kliimakoormustega

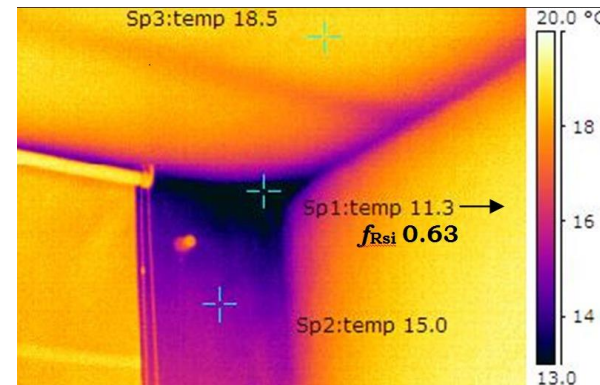
- Hoonele mõjuvad väliskliima koormused sõltuvad:
 - **Asukohast** tuule ja kaldvihma suhtes (mere ääres, lagedal, kõrgendikul, linnakeskkonnas teiste hoonete suhtes)
 - **Kõrgusest**
 - **Kujust** (lamekatus, viilkatus, räästad)
 - **Sügavusest**, vundeerimistingimustest (pinnase liik ja omadused, maapinna vertikaalplaneering, pinnasevesi, sademete äravool, drenaaž)
- Väliskliima koormust välisseinale vähendavad
 - **Räästad, varjestus**
 - Välisõhuga **tuulutatav fassaad** (s.h. juba ehitusaegne kahelt poolt tuuldud plekk)
- Väliskliima koormust tuleks arvestada
 - Tarindite kavandamisel (nn veataluvus, ingl. k robustness)
 - Avatäidete avatavuse ja avanemissuundade valikul (nõuded akendele)
 - Varjestuse kavandamisel (vältimaks suvist ülekuumenemist kuid kasutamaks ära kevad/sügisel madalamalt paistvat päikest, samuti vältimaks veeauru kondenseerumist akna välispinnale)

Toimivuse kriteeriumid I

- Tarindi toimivuse kriteeriumi (hallitus, kondensaat) suhtes määravad:
 - i) Temperatuur ja suhteline niiskus tarindi **sisepinnal** (suurem soojusläbivus=külmasild)

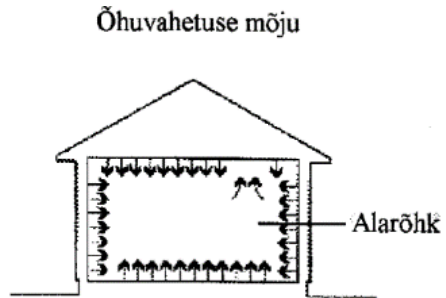
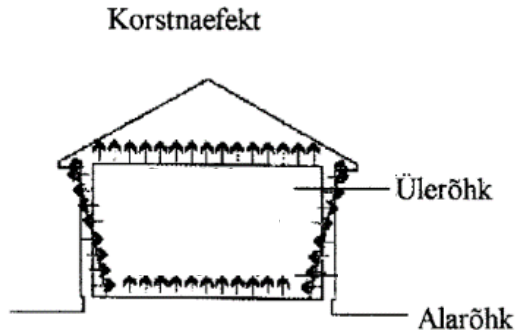


madalam pinnatemperatuur=kõrgem suhteline niiskus pinnal), materjal, aeg

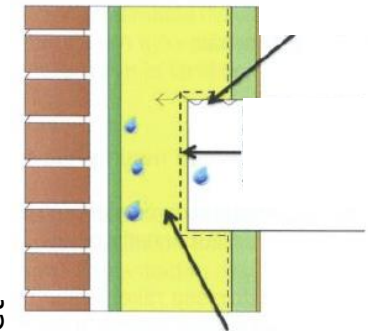
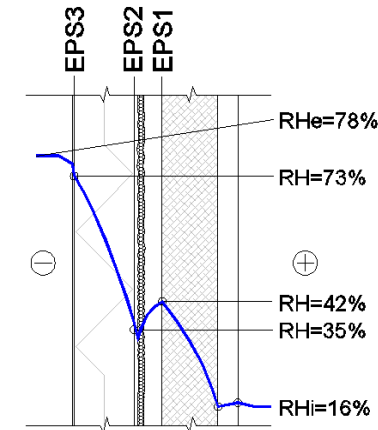
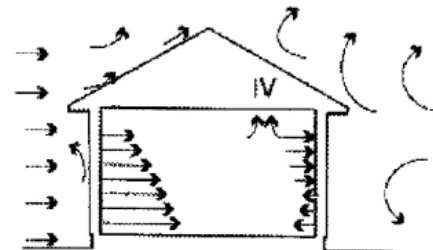
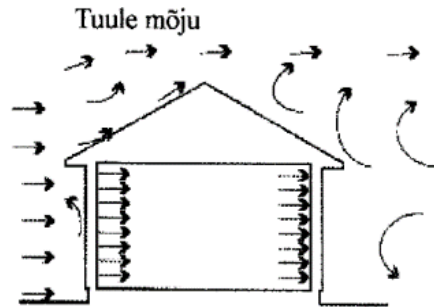


EVS-EN ISO 13788 - külmasilla kriitilisuse hindamiseks temperatuurindeks f_{rsi} . Akna ja aknaraami puhul on minimaalne nõutud temperatuurindeks $f_{rsi}=0.7$ ja ülejäänud tarindite puhul $f_{rsi}=0.8$

Toimivuse kriteeriumid II



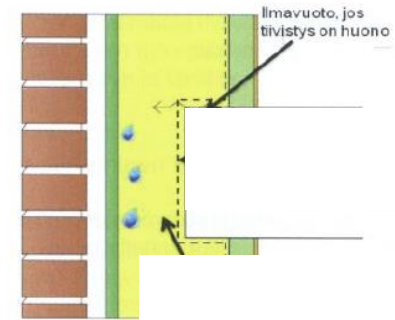
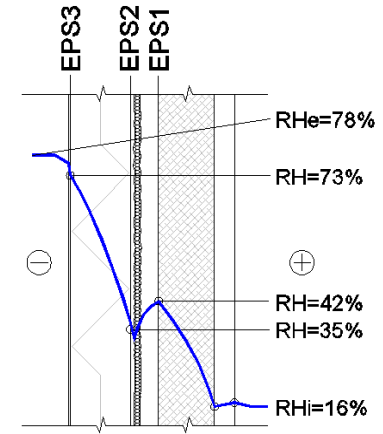
- Tarindi toimivuse määravad:
 - ii) Temperatuur ja suhteline niiskus **tarindi sees**, mis sõltub muuhulgas:
 - Tarindi kihtide soojustakistusest ja veeaurutakistusest (veeauru **difusioon**, toimivus nn kastepunkti meetodil)
 - Tarindi (sisepinna) õhutakistusest ja defektidest (veeauru **konvektsioon** koos õhuga)



RT 05-10710-et

Toimivuse kriteeriumid III

- Tarindi toimivuse määravad:
 - ii) Temperatuur ja suhteline niiskus **tarindi sees**, mis sõltub muuhulgas:
 - Tarindi kihtide soojustakistusest ja veeaurutakistusest (veeauru **difusioon**, toimivus nn kastepunkti meetodil)
 - Tarindi sisepinna õhutakistusest ja defektidest (veeauru **konvektsioon** koos õhuga)
 - **Muul viisil** tarindisse sattunud niiskusest (ehitusniiskus, veeleke kaldvihmast, veeavarii, kondensaat, **kapillaartõus** jne) mistahes kujul (vesi, jää, lumi, veeaur)
 - Veel **toimivuse kriteeriume** – soojuslik sisekliima, soojusläbivuse suurenemine, keemiline lagunemine, korrosioon, külmakahjustused, kahjulike ühendite eritumine, puidumädanik, visuaal jne



Tarindi olulised kihid - sõrestiksein

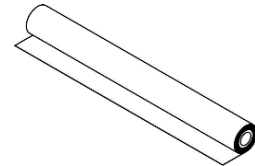
- Igal kihil on oma ülesanne
 - Õhutõkked:

TARINDISE

KROHV

RULL-MATERJAL

PLAAT-MATERJAL



Liitekohad teibitud!

OSB ≥ 22 mm, sulundiga, liitekohad tihendatud

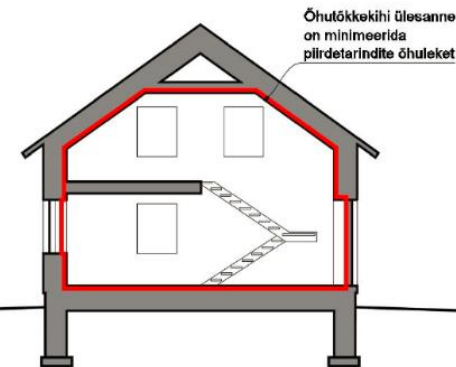
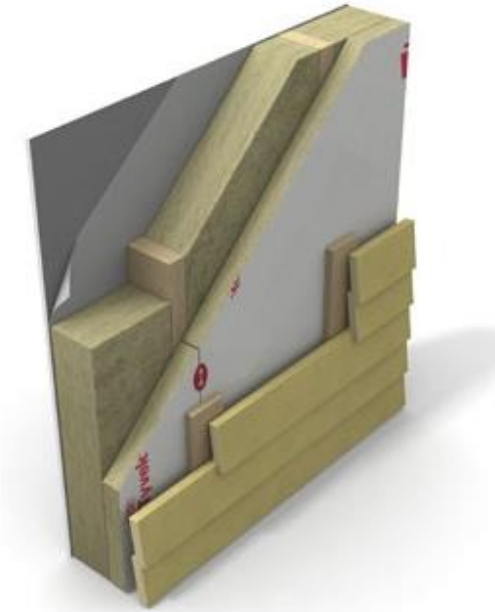
Vertikaalne roov/ ühe või kahekihiline vert. laudis

ÕHU(-JA AURU)TÕKE



Õhueri juhtivus $< 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \text{s Pa})$;
Veeauru difusioonitakistus $S_d > \sim 3 \text{ m}$

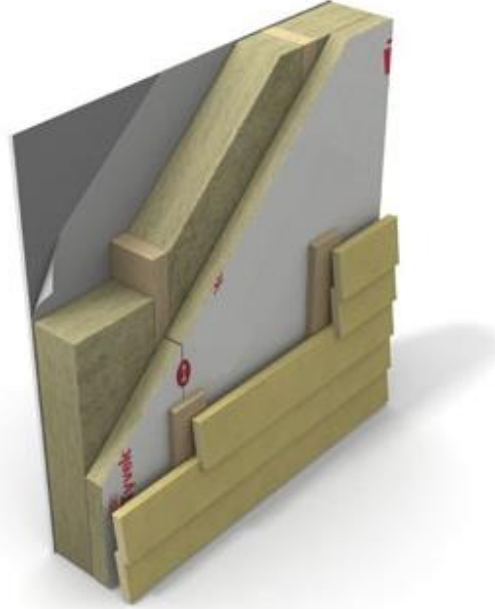
Täna ei pea lisarook olema enam postidega paralleelselt



Õhutõkkekihi ülesanne on minimeerida pildetarindite õhuleket

T.Kalamees

Tarindi olulised kihid - sõrestiksein



- Igal kihil on oma ülesanne
 - Tuuletõke: ≥ 30 mm pressitud villast, sulundservaga, vetthülgava kuid veeauru juhtiva pinnakattega, liitekohad teibitud
 - Miks teised, õhemad tuuletõkked ei sobi?

ISOVER VKL

Tootekirjeldus

Dokumentatsioon

Tehniline informatsioon

General

Soojusjuhtivus	0.032 W/m.K
Tuletundlikkuse klass	A2,A2-s1,d0
CE märgistuse kood	MW-EN13162-T4-MU1
Paksus (mm)	13 mm
Pinnakate	Ei
Veeauru difusiooni takistustegur (MU)	1
Lühiajaline veemavus	< 1
Pikaajaline veemavus	<3
Õhu eritakistus	<15 x10 ⁻⁶ m ³ /msPa
Kõrgeim kasutustemperatuur (°C)	200
Koormustaluvus	10 kPa
Dünaamiline jäikus	≤ 24 MN/m ²
Soojusjuhtivus	0.032 W/m.K



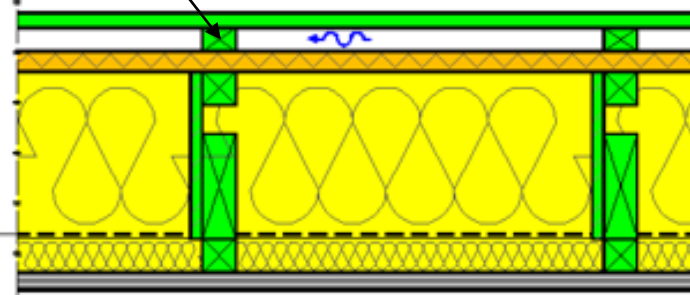
Vertikaalne roov/ ühe või kahekihiline vert. laudis

TUULETÕKE

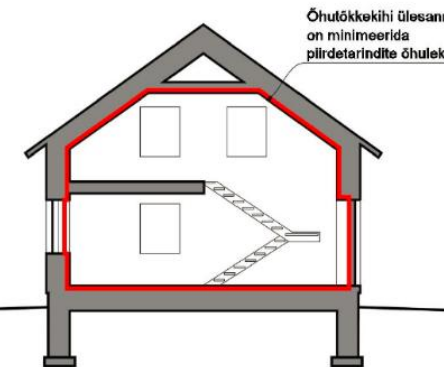
Õhuerijuhtivus < $10 \cdot 10^{-6}$ m³/(m²sPa)
 Isover RKL facade OK!
 VKL ei sobi (51 korda)!

ÕHU(-JA AURU)TÕKE

Õhuerijuhtivus < $1 \cdot 10^{-6}$ m³/(m²sPa);
 Veeauru difusioonitakistus $S_d > \sim 3$ m



Täna ei pea lisarööv olema enam postidega paralleelselt



Õhulõkkekihi ülesanne on minimeerida piirdetarindite õhuleket

T. Kalamees

Tarindi olulised kihid - sõrestiksein



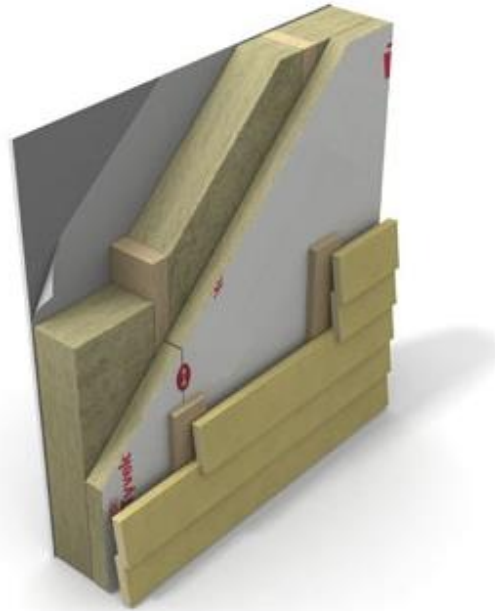
ISOVER RKL FACADE

Tootekirjeldus Dokumentatsioon

Tehniline informatsioon

General		
Soojusjuhtivus		0.031 W/m.K
Tuletundlikkuse klass		A2,A2-s1,d0
CE märgistuse kood		MW-EN13162-T4-Z(0,05)-WS-WL(P)
Paksus (mm)		30-100 mm
Pinnakate		Veeauru läbilaskev tuuletõkkekate
Veeauru difusiooni takistustegur (MU)		1
Diffusiooni veeaurutakistus		0.05
Lühiajaline veeimavus		< 1
Pikaajaline veeimavus		<3
Õhu läbilaskvus		<10x10 ⁻⁶ m ³ /m ² sPa
Kõrgeim kasutustemperatuur (°C)		200
Soojusjuhtivus		0.031 W/m.K

- Igal kihil on oma ülesanne
 - Tuuletõke: ≥ 30 mm pressitud villast, sulundservaga, vetthülgava kuid veeauru juhtiva pinnakattega, liitekohad teibitud
 - Miks teised, õhemad tuuletõkked ei sobi?



Vertikaalne roov/ ühe või kahekihiline vert. laudis

TUULETÕKE



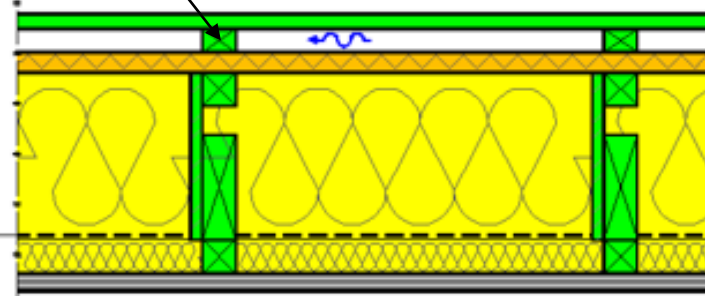
Õhuerijuhtivus $< 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{sPa})$

Isover RKL facade OK!

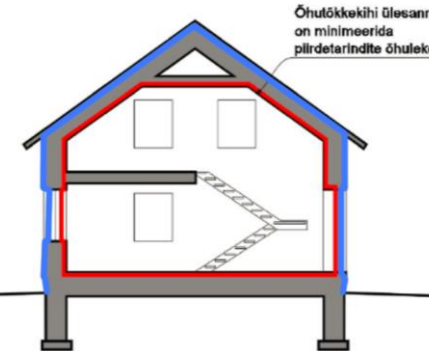
ÕHU(-JA AURU)TÕKE



Õhuerijuhtivus $< 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{sPa})$;
Veeauru difusioonitakistus $S_d > \sim 3 \text{ m}$



Täna ei pea lisarööv olema enam postidega paralleelselt



Õhutõkkekõiki ülesanne on minimeerida pliidetarindite õhuleket

T. Kalamees

Tarindi olulised kihid - sõrestiksein

- Ehitusniiskus:



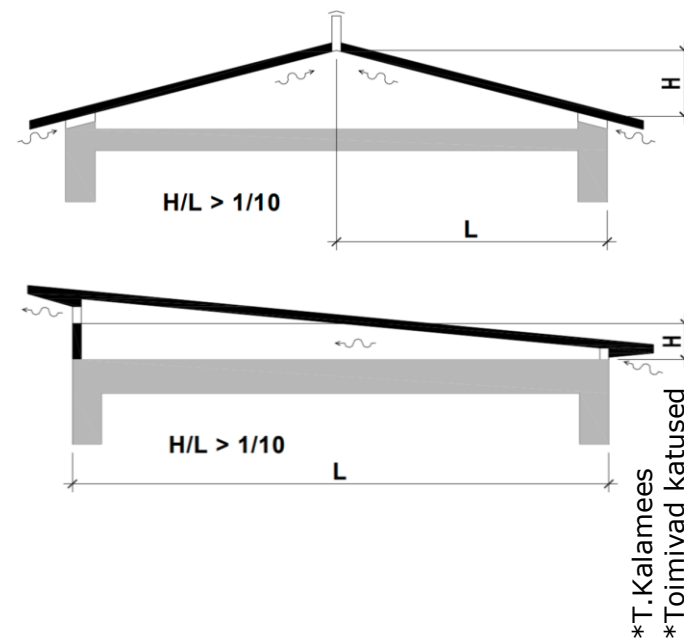
- Puitsõrestiktarindite puhul on tehasealine eeltootmine rangelt soovituslik



- Ühemõõtmeline tarind on ebapiisav, ehitaja vajab sõlmi

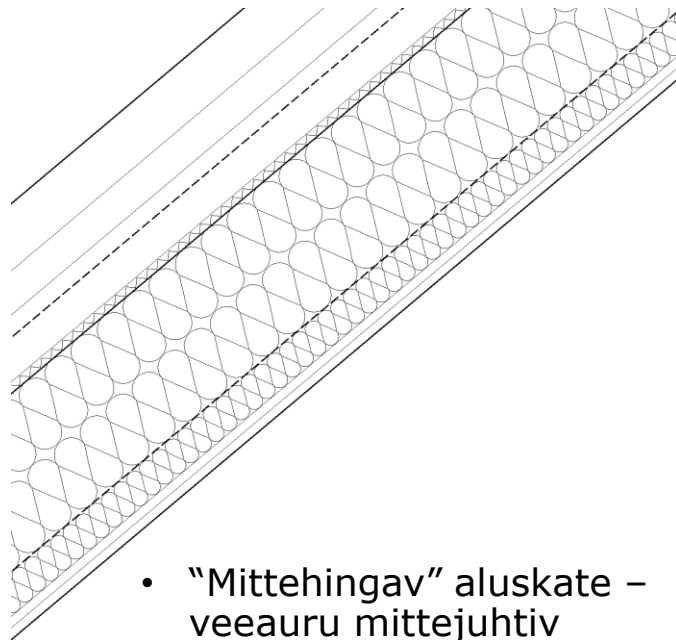
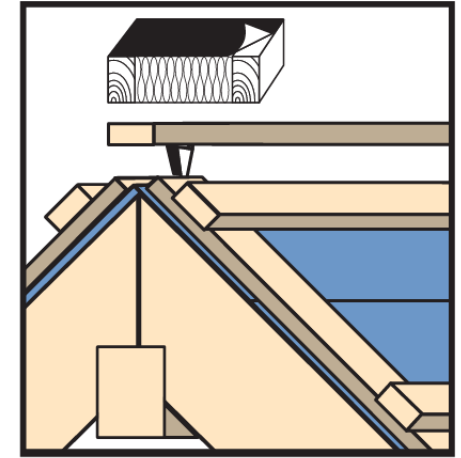
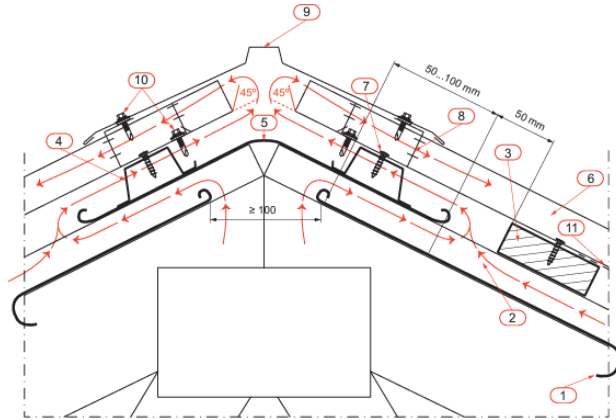
Tarindite toimivus – katused

- Kaldkatvus vs lamekatvus – piiriks loetakse 1:10
- Lamekatuse puhul puudub kõrguste erinevus (liikumapanev jõud õhu liikumiseks). Lamekatuse minimaalne kalle soovituslikult 1:40
- Puitkandjatel lamekatuslage (tuulutusvahe ≥ 100 mm, tuulutus räästas/parapetis?) tuleks vältida
- Kaldkatuse tuulutusavade pind min 0,2% katuse pinnast, tuulutusvahe kõrgus ≥ 50 mm, suurte katuste korral rohkem; kõrguste erinevus võiks olla min 1,5 m
- Tuulduv vs difusioonikanalitega vs mittetuulduv katvus

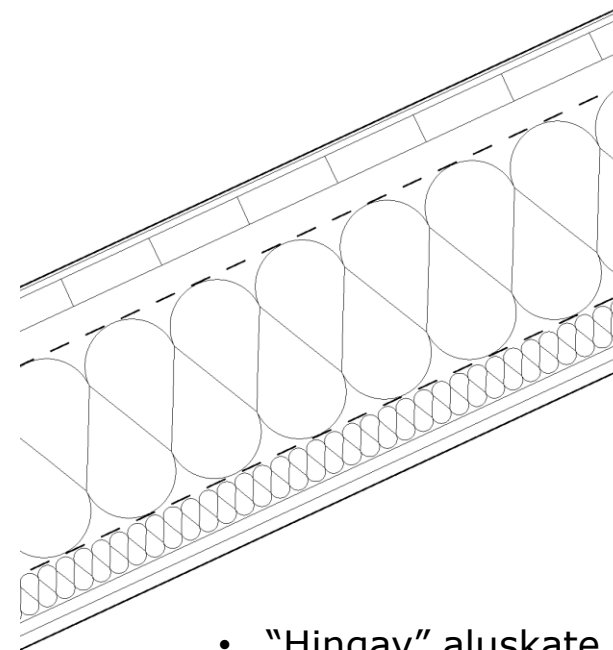


Tarindite toimivus – katused

Pilt 15. Katuse hari, mittetuulduv



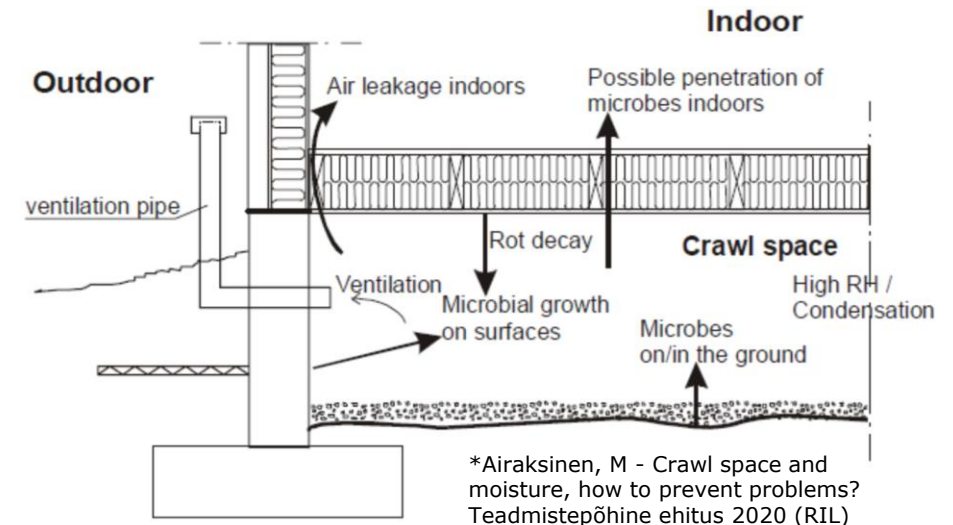
- "Mittehingav" aluskate – veeauru mittejuhtiv



- "Hingav" aluskate – veeauru juhtiv

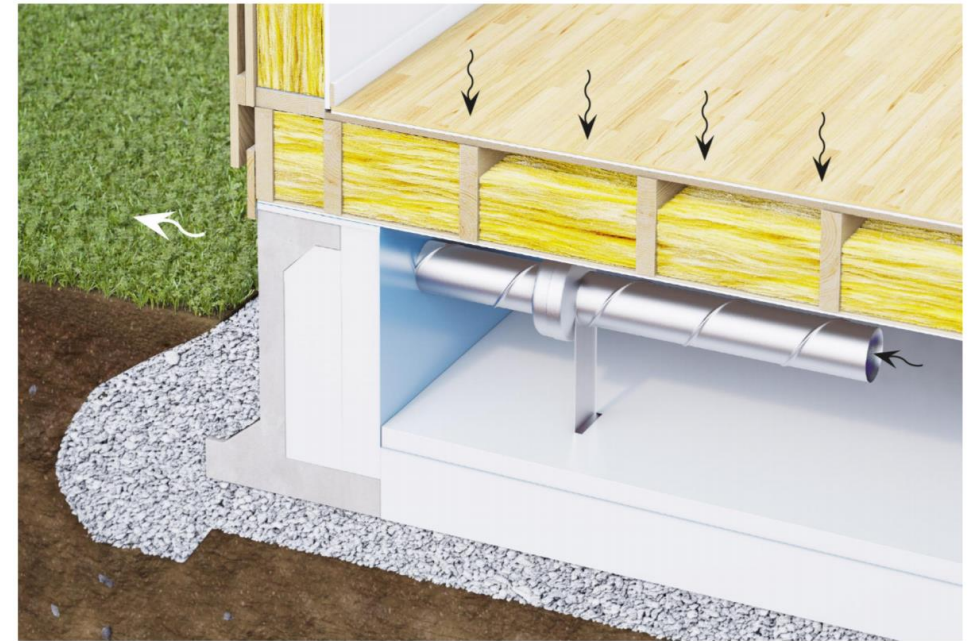
Tarindite toimivus – põrand välisõhu kohal

- Tendents – välisõhu kohal paiknevate puitkonstruktsioonis põrandate (taas)kasutuselevõtu laienemine seoses tehaseelse eeltootmisega
- Radooniohtlikus piirkonnas võib osutuda paremaks lahenduseks kui põrand pinnasel
- Intensiivsem ventileerimine võib olukorda halvendada
- Kinnistu ja põrandaaluse planeerimine, vältimaks vee kogunemist põrandaaluses ruumis
- Põrandaaluses ruumis ei tohi olla orgaanikat



Tarindite toimivus – põrand välisõhu kohal

- Lahenduseks on pinnase soojuslik (ja niiskuslik) isoleerimine
- Vähene ventilatsioon on vajalik, kontrollitud mehaaniline ventilatsioon on turvalisem valik kui tuulutussavad



*Airaksinen, M - Crawl space and moisture, how to prevent problems?
Teadmispõhine ehitus 2020 (RIL)

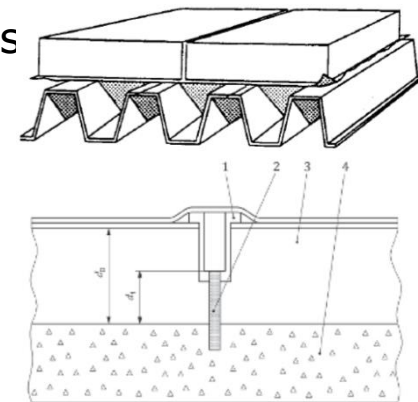
Enamlevinud soojustusmaterjalid

- Mineraalvill (klaasvill/kivivill, pehme, pooljäik, koormust taluv)
- Vahtpolüstüreen ehk EPS
- Pressitud polüstüreen ehk XPS
- PIR(+foolium)
- PUR
- Kergkruus
- Vahtklaas
- Tselluvill
- jne



Soojustusmaterjali olulised omadused

- Soojustuserijuhtivus λ , W/(mK)
- Survetugevus (nt lamekatusel vs seinas)
- Tuletundlikkus
- Õhuerijuhtivus
- Niiskustaluvus (nt EPS/XPS veeimavuse erinevus 0,2% vs 2% EN 12087)
+ muud ehitusfüüsikalised omadused ning püsivus ajas
- Keskkonnasõbralikkus, s.h. emissioonid
- Tööeldavus ja paigaldamise lihtsus
- Tarindi soojusläbivuse arvutamisel on määravaks s soojuserijuhtivus ja paksus
kuid lisaks sellele tuleb piirdetarindi korrigeeritud soojusläbivuse saamiseks arvestada:
 - Õhupiludest tingitud parandus
 - Mehaanilistest kinnititest punktkülmasillad
 - Pööratud katusest tingitud parandus
 - Soojustuse mikrokonvektsioon (sõltub villa tihedusega seotud soojuserijuhtivusest)



PIR - polüisotsüanuraat

Eelised:

- Soojuserijuhtivus, $\lambda_d = \sim 0.022 \text{ W/(mK)}$
- Survetugevus, 175kPa 10% def. juures
- tuuletõke, õhu-aurutõket
- Mass
- kujupüsiv

Puudused:

- Helipidavus
- Keskond



Tehnilised andmed:

- Mahumass: $\pm 32 \text{ kg/m}^3$
- Survetugevus 10%-lise deformatsiooni juures: **175 kPa (17,5 tonn/m²)**
- Käitumine ühtlaselt jaotunud koormuse korral: **klass C** ($\leq 5\%$ deformatsioon 80 °C juures ja 40 kPa koormusega)
- Suletud kärjed: **üle 95%**
- Veeaurudifusioon: PIR-vaht: $\mu = 60$ - ALU-kiht: $\mu > 100\,000$

**TAL
TECH**

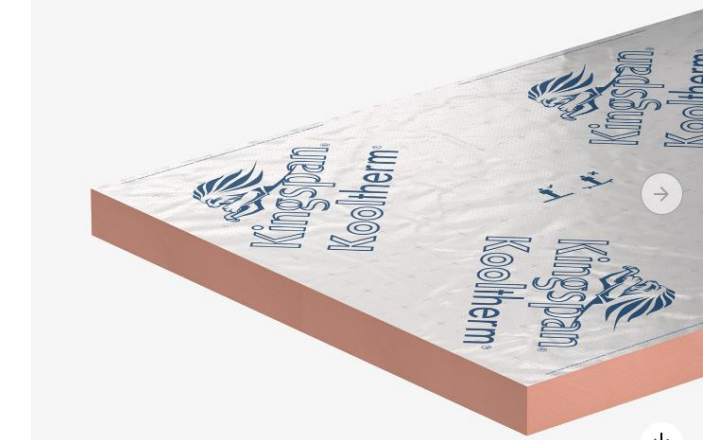
Erinevused



*IKO enertherm



*Baltic PUR



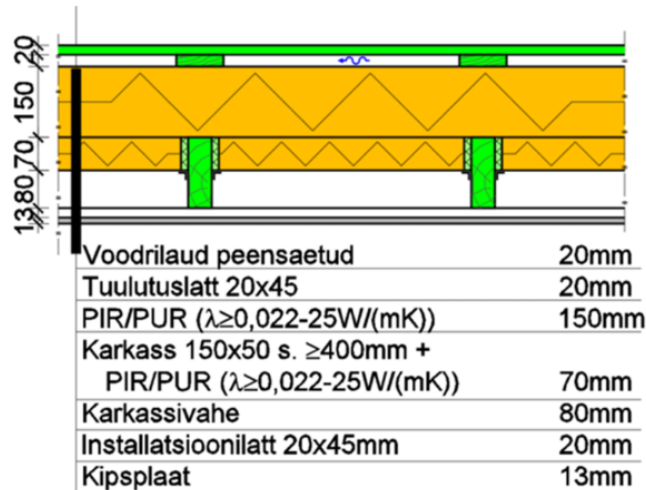
*Kingspan - fenoolplaat

PIR - polüisotsüanuraat

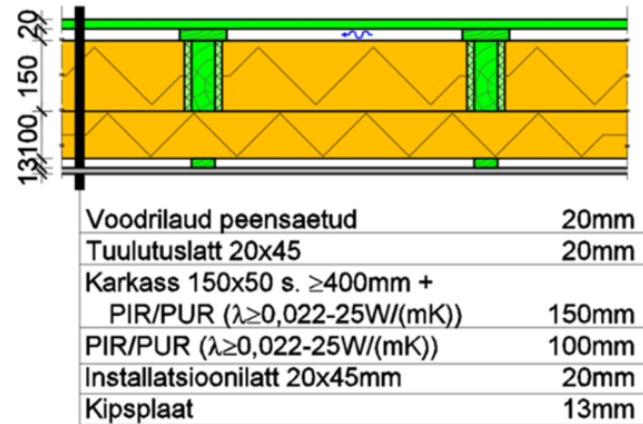
- Soojutuskihtide loogika ei ole analoogne traditsioonilisele villapõhisele tarindile.



*M. Rannik (eramaja Kiilis)



$$U_c = 0,118 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,92$$



$$U_c = 0,115 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \eta = 0,84$$

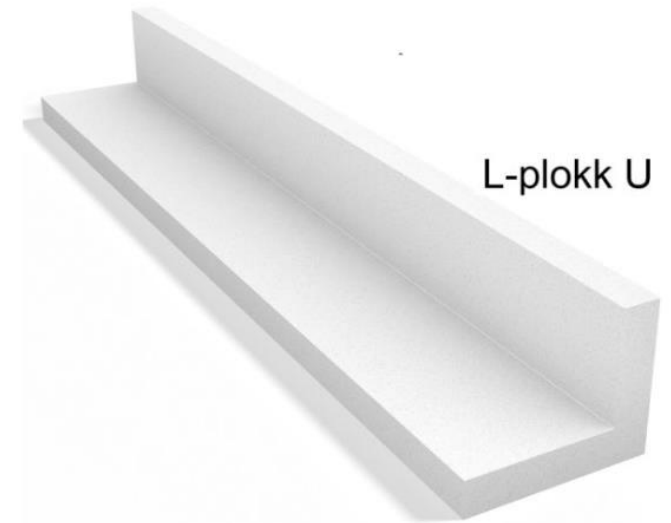
*Kredex "LIGINULLENERGIA ELUHOONED VÄIKEMAJAD"

EPS - vahtpolüstüreen

- Soojuserijuhtivus, $\lambda_d = 0.027 - 0.035 \text{ W/(mK)}$
- Survetugevus, kuni 200kPa 10% def. juures
- Veeimavus, $i \geq 2\%$
- **Soklid, vundamendid, põrandad pinnasel**
- Mitte karkassi vahel



*Priit Rannik –
hübriidkonstruktsiooni leid



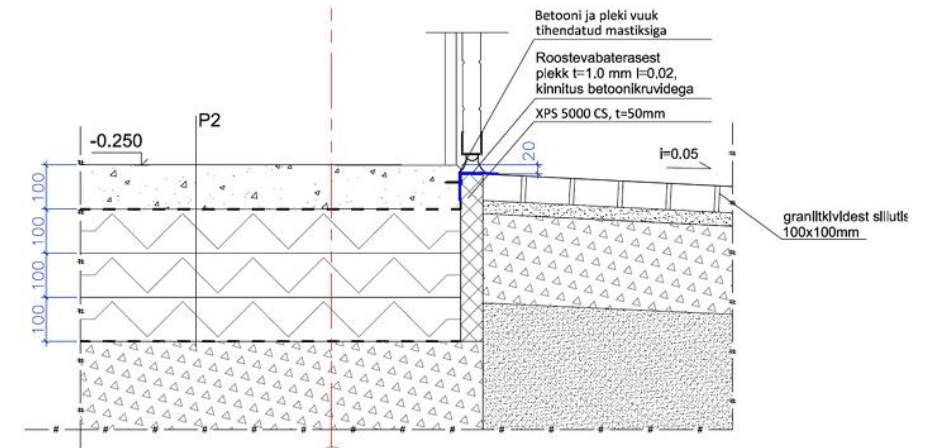
> On lubamatu kasutada nii vastutusrikkas konstruktsiooni osas nagu vundamenditaldmiku alune, soojustusmaterjali EPS 100.

*Reideni plaat kodulehelt



XPS- ekstrudeeritud vahtpolüstüreen

- Soojuserijuhtivus, $\lambda_d = 0.027 - 0.035 \text{ W/(mK)}$
- Survetugevus, 300 kuni 700kPa 10% def. juures
- Veeimavus, $i \leq 0,2\%$
- Soklid, vundamendid, põrandad pinnasel
- Lamekatused, pööratud katused



da sõlm.

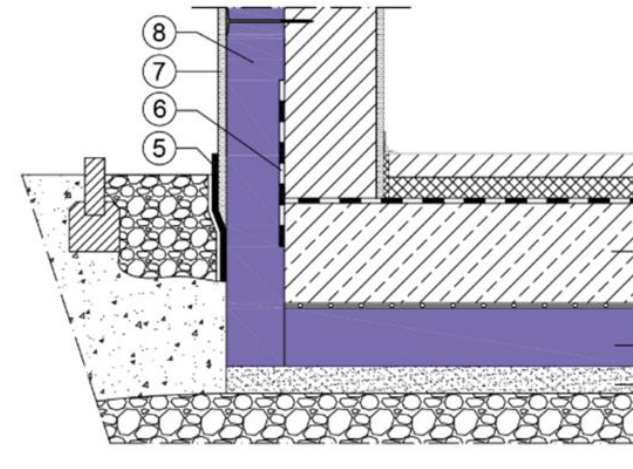


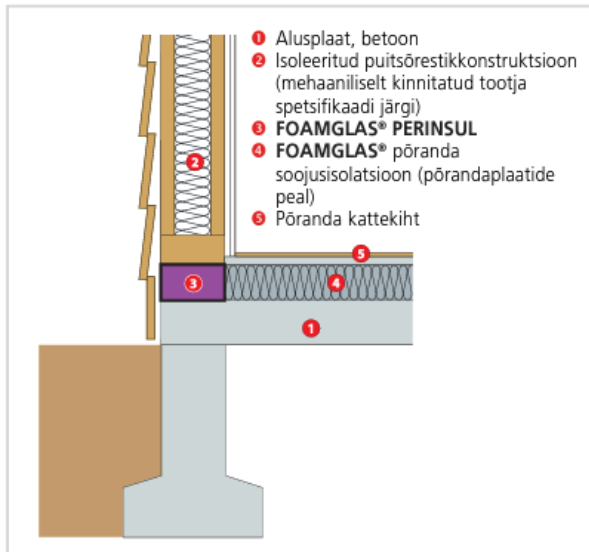
Image 1 / 1: 01-004-JACKODUR-foundation slab

Vahtklaas

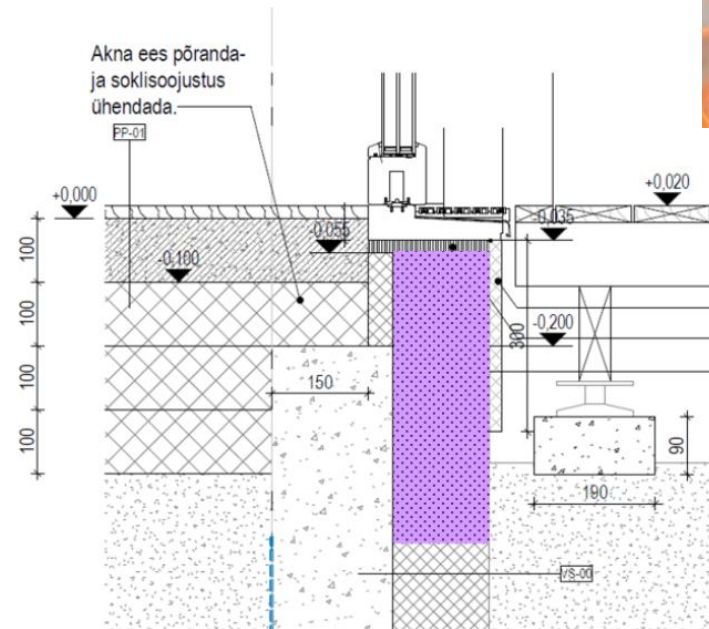
- Soojuserijuhtivus, $\lambda_d = \sim 0.036 - 0.058 \text{ W/(mK)}$
- Survetugevus, $\sim 2,9 \text{ MPa}$
- Tulepüsivus, gaaside eraldumine $+430^\circ\text{C}$
- Veeaurutakistus: kuni ∞ infinite
- **Kerise tagune, suure koormusega pinnad, suure niiskulisaga honed (ujulad)**



Puitsõrestikkonstruksiooni all



*Foamglass



*Soklis aknaraami toetuspind

Üksikelamu Saueel

- Renoveerimisvajadus
- Ei vasta nõuetele kehtivatele nõuetele
- Vahetatud karkassi osad
- Uued avad
- Sokli soojustamine?

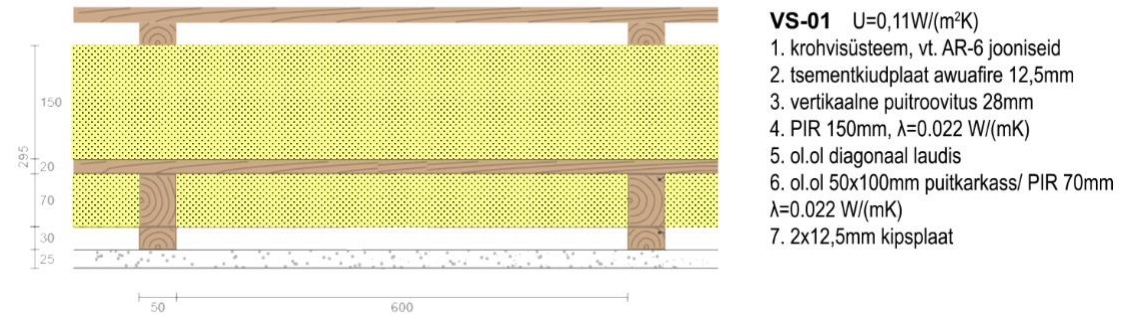
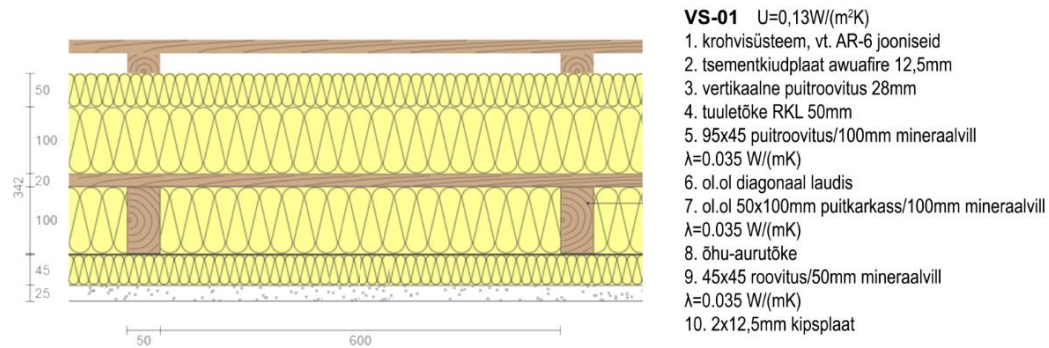


*majaomaniku fotod



Üksikelamu Saueel

- Projekteeritud traditsiooniline lahendus vs alternatiiv PIR



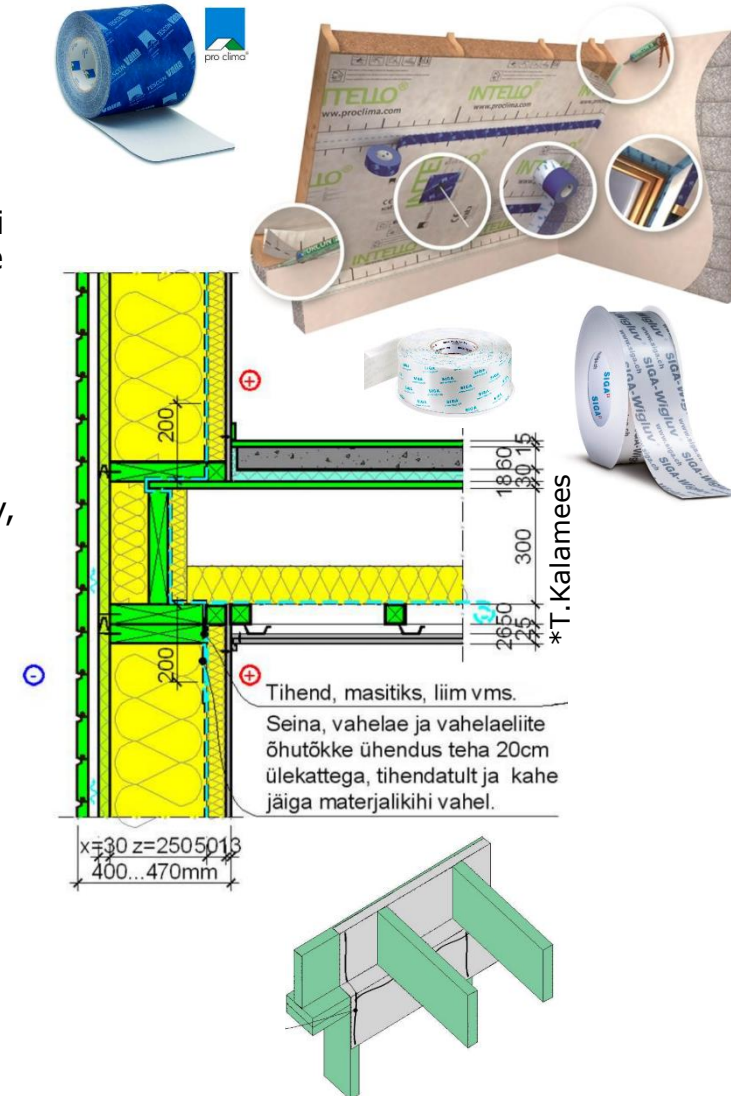
Villapõhine	vs	PIR
0,13		0,11
300mm		220mm
4% netopinna vahe		
Helipidavus?		

Tarindi õhupidavus (liitekohad)

- Projekteerija lahendab liitekohtade tihendamise
 - Teibid/lindid (õhu- ja aurutõkke teip tarindi sisepinnal ja tuuletõkke teip tarindi välispinnal on erinevad, samuti avatäidete liitekohtade ja läbiviikude jaoks)
 - Võõpmastiks + tugevduskangas
 - Liimid, hermeetikud
 - Tihendid
 - Nõuded aluspinnale (laius, puhas, kuiv, sile, sobiv temperatuur)

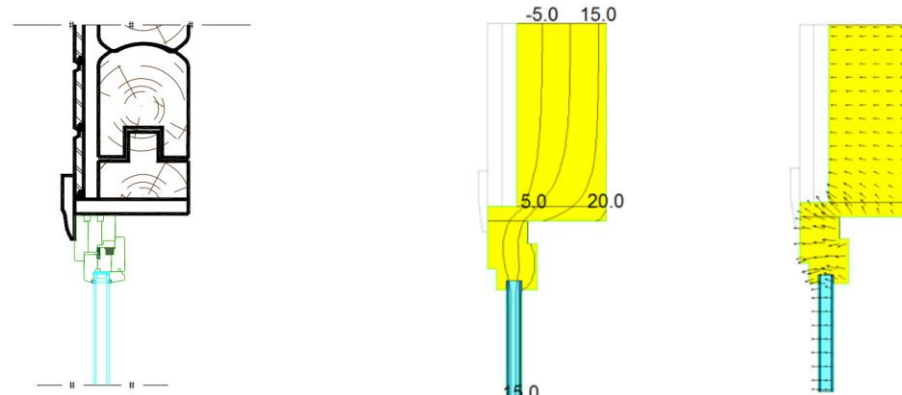


*J. Hallik (TTÜ, Sense OÜ)



Aknad

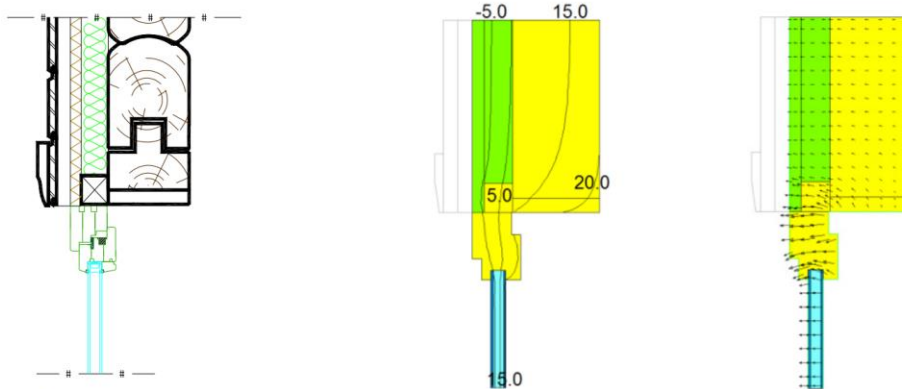
Lisasoojustamata sein, aken välisvoodri tasapinnas



Temperatuuriindeks f_{Rsi} , -
Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ , W/(m·K)

0,65
0,10

Lisasoojustatud sein, aken tuuletõkkeplaadi tasapinnas

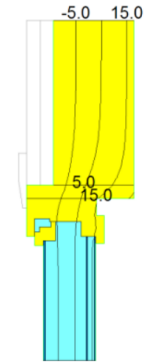
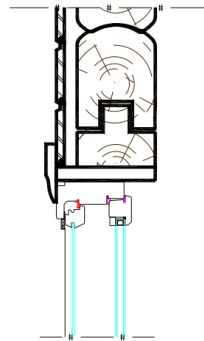


Temperatuuriindeks f_{Rsi} , -
Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ , W/(m·K)

0,78
0,03

Aknad

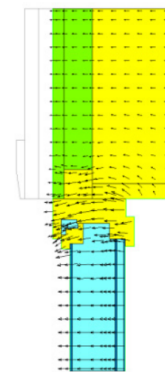
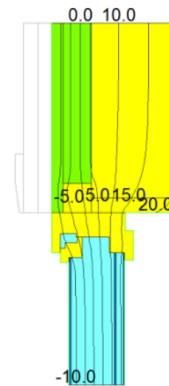
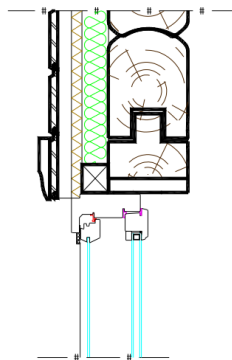
Lisasoostamata sein, aken välisvoodri tasapinnas



Temperatuurindeks f_{Rsi} , -
Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ , W/(m·K)

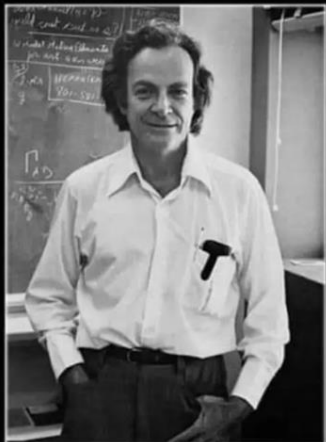
0,82
0,03

Lisasoostatud sein, aken tuuletõkkeplaadi tasapinnas



Temperatuurindeks f_{Rsi} , -
Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ , W/(m·K)

0,86
0,02



“Knowledge isn't free.
You have to pay attention.”

— Richard P. Feynman

TAL TECH

PUITTARINDITE RENOVEERIMINE KAASAEGSETE ISOLATSIOONIMATERJALIDEGA



SIMO ILOMETS, PhD, Volitatud ehitusinsener (tase 8.
Vanemlektor, programmijuht (Hooned ja rajatised)

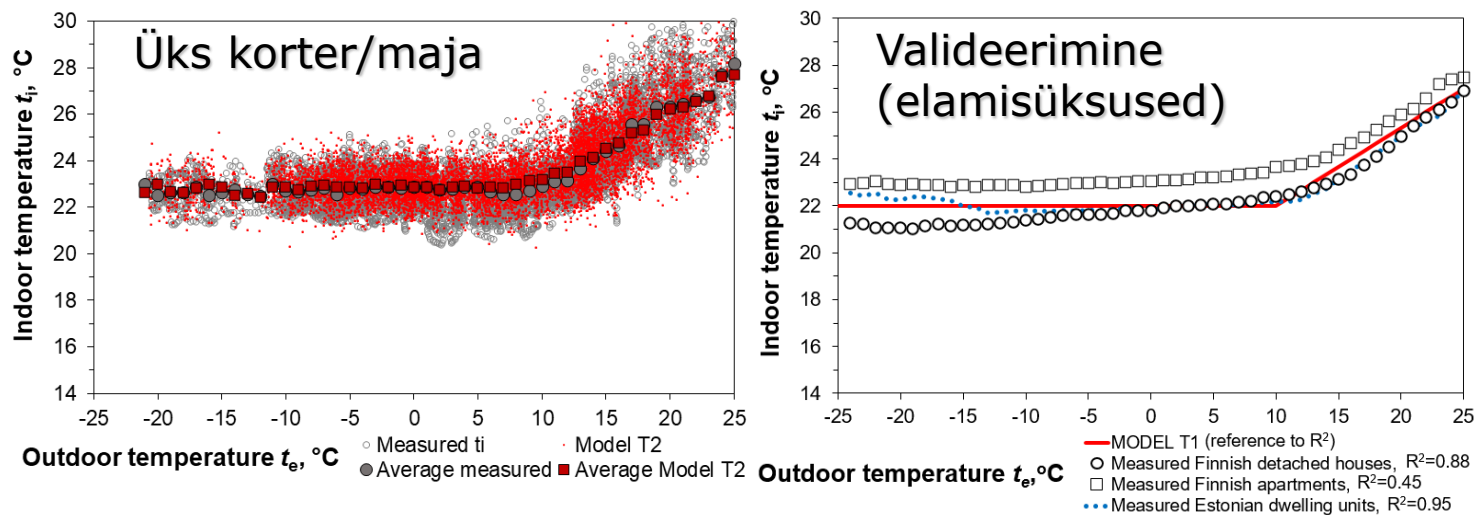


Eesti vabaõhumuuseum 31.05.2023

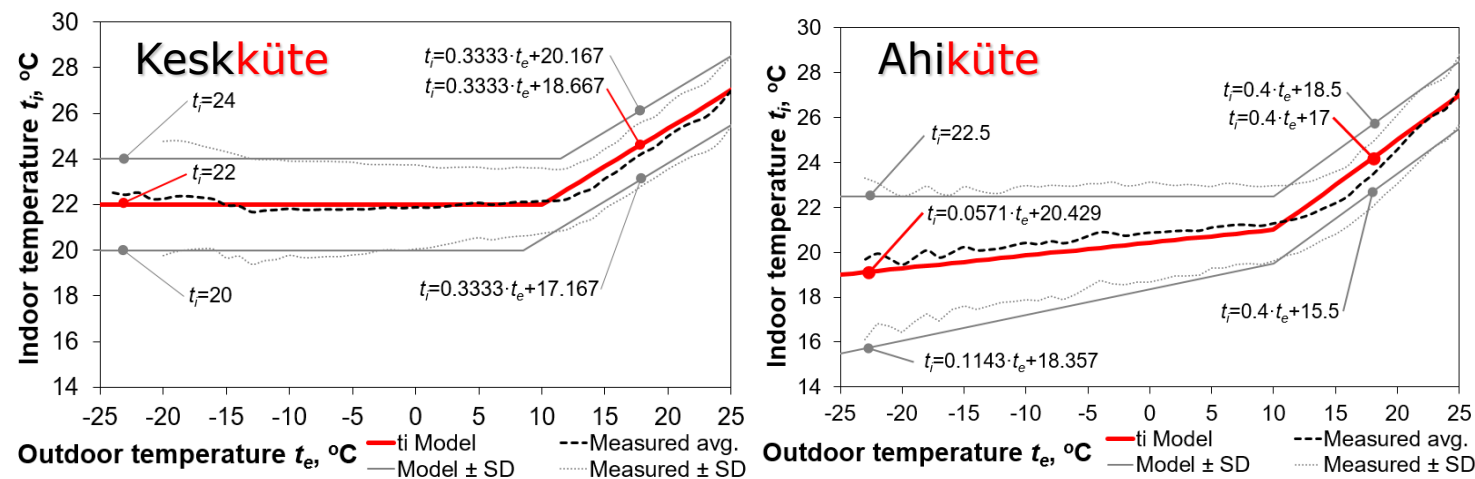


Eesti elamute siseõhu temperatuuri mudelid

Kas keskküte kuivatab õhku?



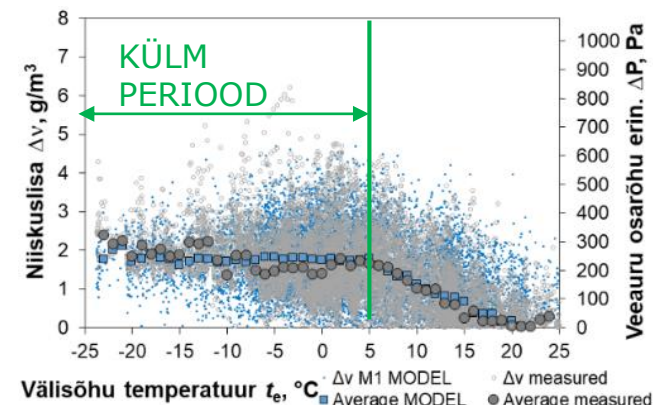
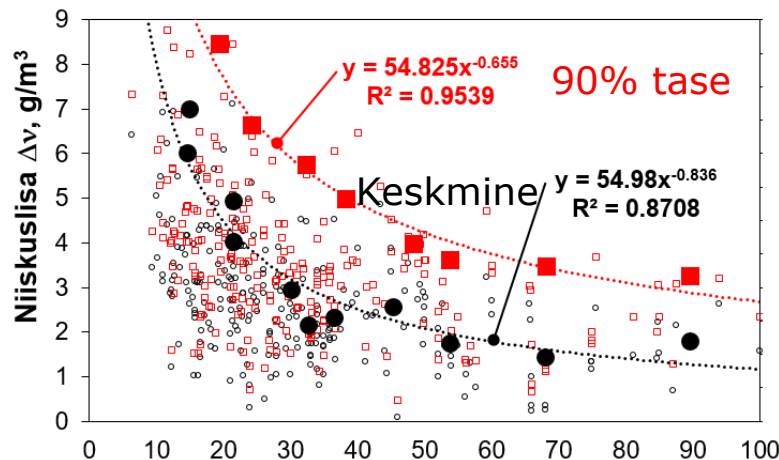
- Eesti elamute siseõhu temperatuur sõltub **küttesüsteemist**



- Uemad korterid on soojemad (ca 23 °C) kui vanemad (ca 21 °C)

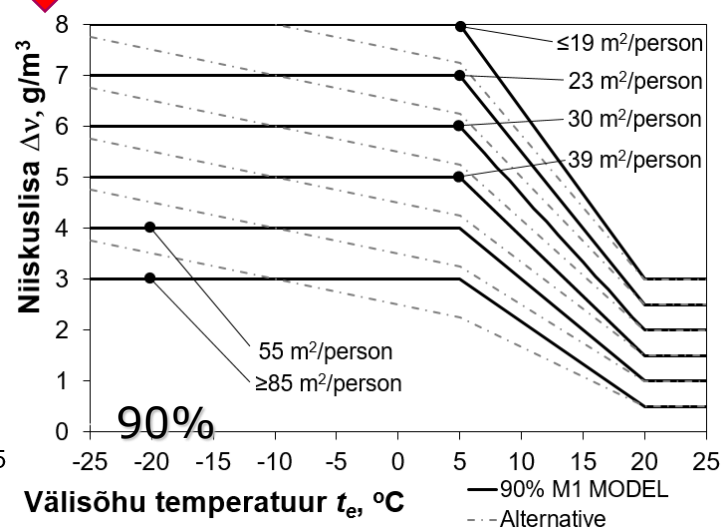
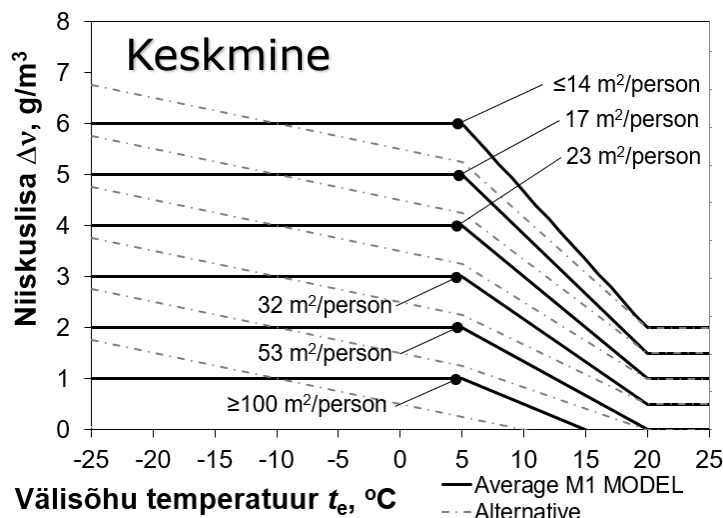
Eesti elamute siseõhu niiskuse mudelid

- Keskmise ja kriitilise (90% tase) niiskuslisa erinevus on ligikaudu kaks korda



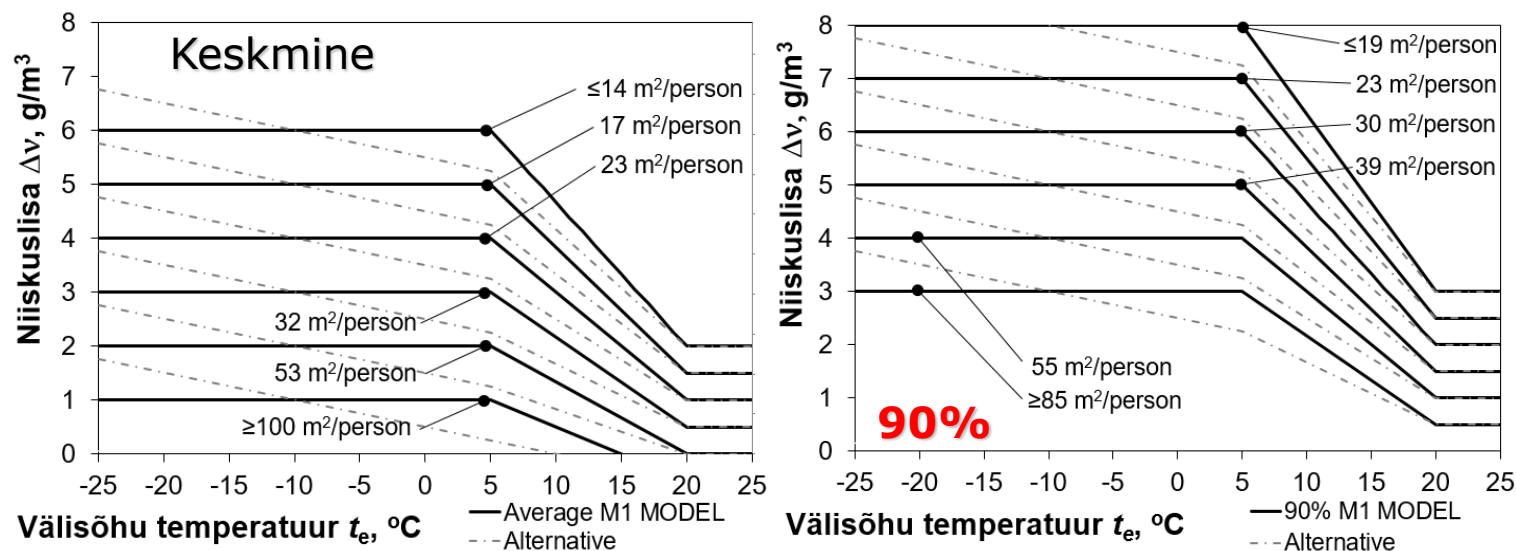
Asustatus, m²/person

- Average of one dwelling unit
- Average
- Weekly max of one dwel.
- 90% percentile
- Power (Average)
- Power (90% percentile)



$$\Delta v = v_i - v_e = G / q_v$$

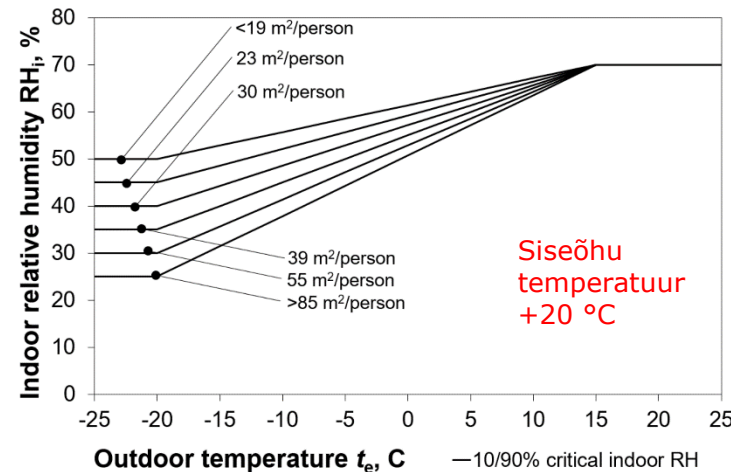
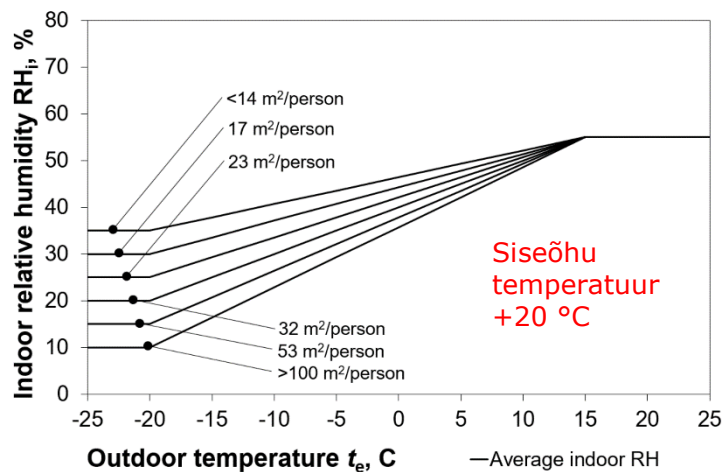
Eesti elamute siseõhu niiskuse mudelid



$$\Delta v = v_i - v_e = G / q_v$$

- Niiskuslisa Δn ehk sise- ja välisõhu veeaurusisalduste erinevus $\Delta v = v_i - v_e$;
- Peamine niiskuslisa mõjutav tegur on:
 - Asustustihedus O , m^2 /inimene (seotud niiskustoodanguga G)
- Teisane niiskuslisa mõjutav tegur on õhuvahetus, mis koosneb järgmistest alamfaktoritest (tähtsuse järjekorras):
 - Ventilatsiooni õhuvahetuskordsus n , h^{-1}
 - Tarindite õhulekkearv q_{50} , m^3/m^2h
 - Ventilatsioonikorstna kõrgus (ainult loomuliku vent. korral) h , m
 - Aknad (ehitusaegne puit vs vahetatud PVC, ainult vanematel elamutel)

Eesti elamute siseõhu niiskuse mudelid



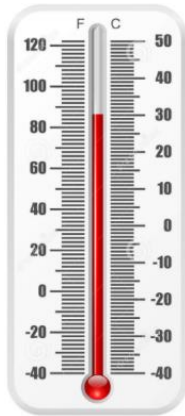
* Ilomets, S., Kalamees, T., Tariku, F. 2019. Indoor climate loads for dwellings in different cold climates to assess hygrothermal performance of building envelopes. Canadian Journal of Civil Engineering

- Siseõhu **suhteline niiskus** ilma siseõhu temperatuuri ning väliskliimat arvestamata **ei näita niiskuskoormust!**
- Suhtelise niiskuse vahemik 40...60% on aegunud (sellist nõuet ei ole)
- Vahemik 25...45% talvel ning 30...70% suvel on asjakohasem (kuid ka seda ei saa käsitleda nõudena kuni see ei tulene tellija LÜ-st või projekteerija lahendusest)
- Uute elamute probleemiks on kujunemas **liiga kuiv õhk talvel** (keskmise või väike asustustihedus, korralik ventilatsioon, siseõhu temperatuur +23...+24 °C)

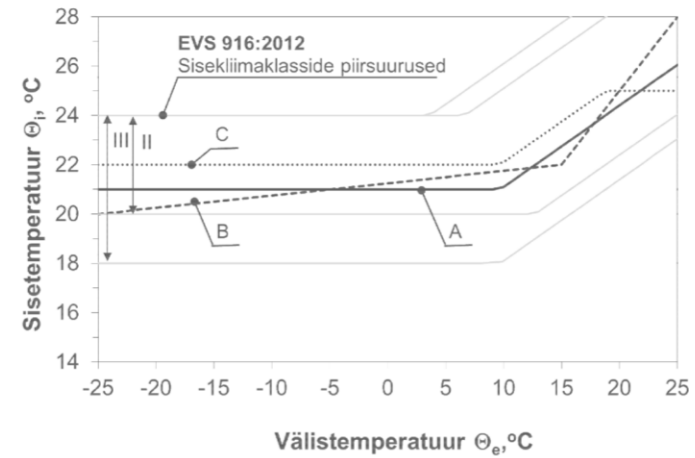
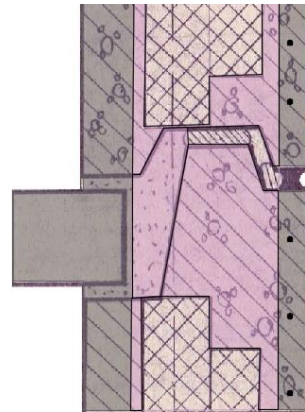
Piirdetarinditele mõjuvad sise- ja väliskliima koormused

- Sisekliima koormused:

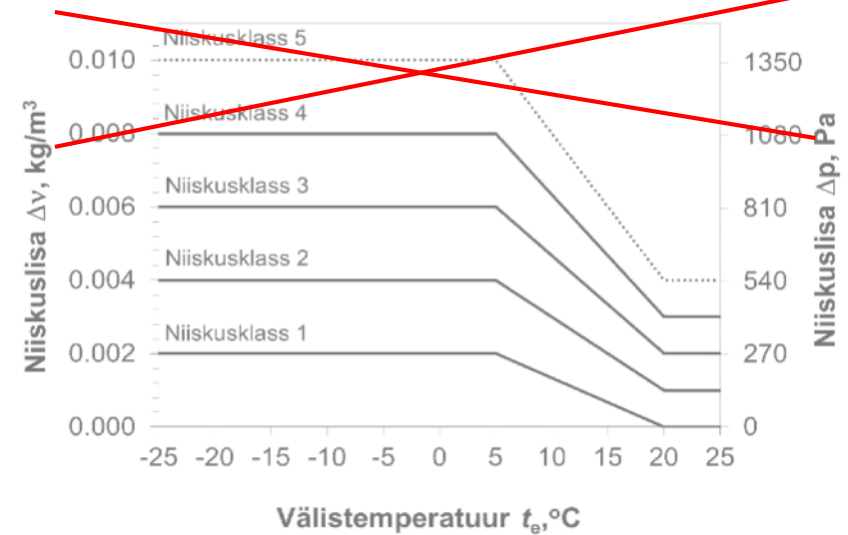
- Temperatuur
- Niiskus (suhteline, veeauru sisaldus, niiskuslisa)



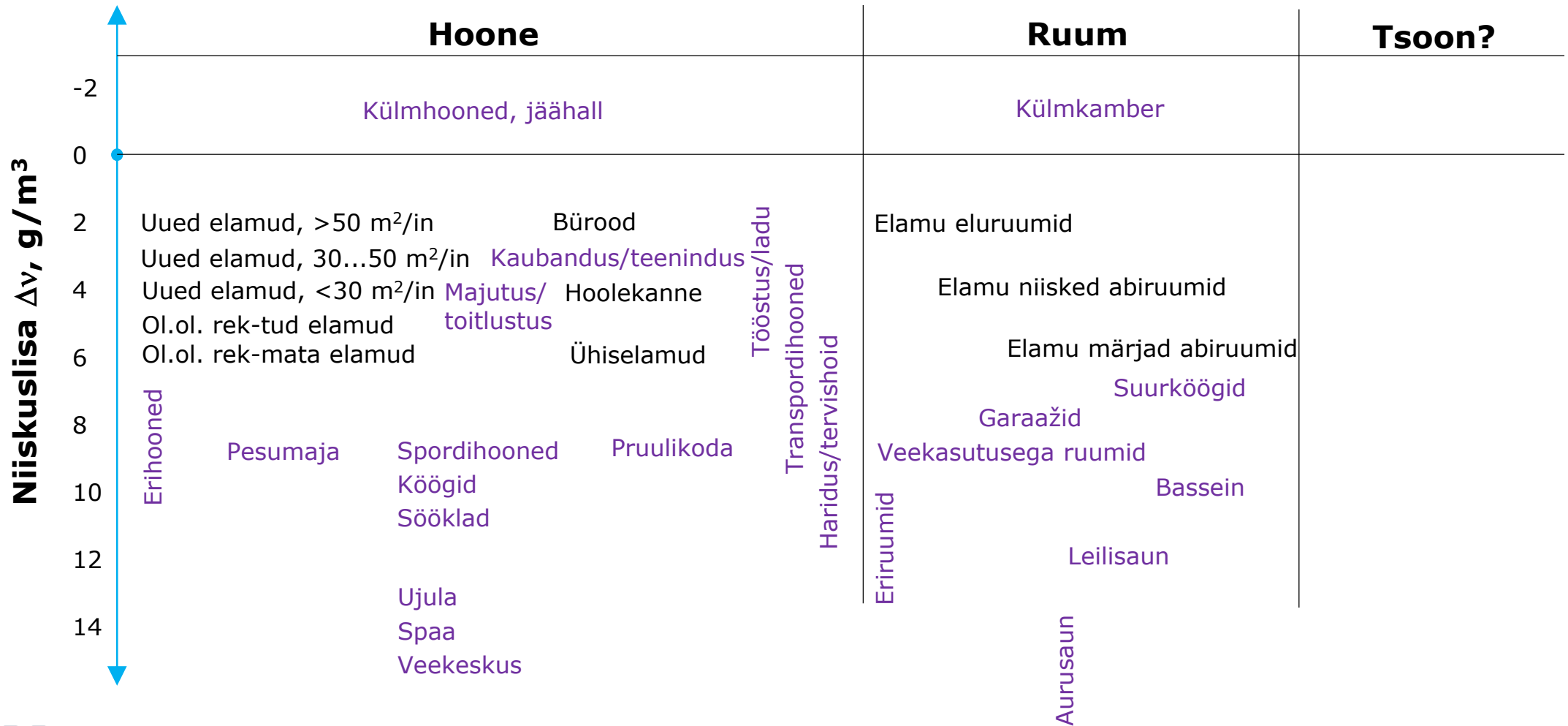
VÄLISSEIN



*EVS-EN ISO 13788

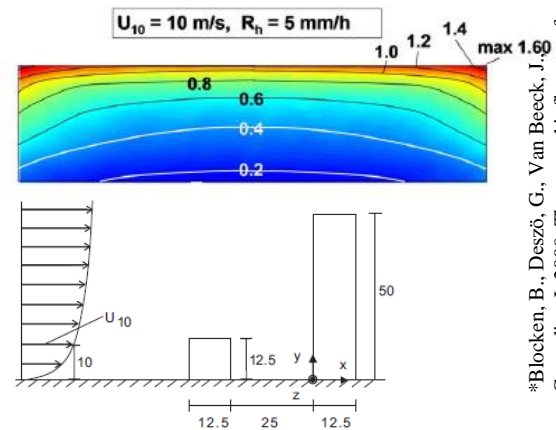


Sisemine niiskuskoormus erinevate kasutusotstarvete puhul (MTMm nr 51)



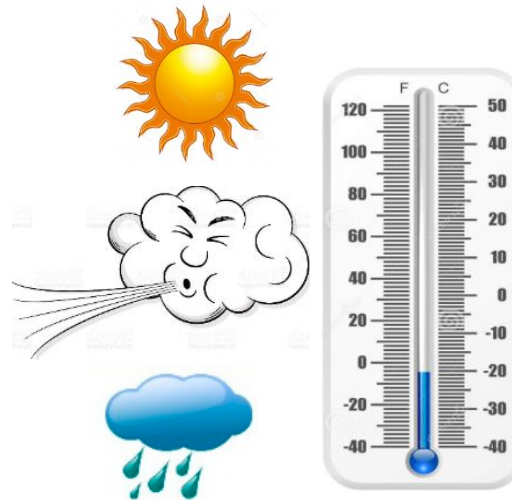
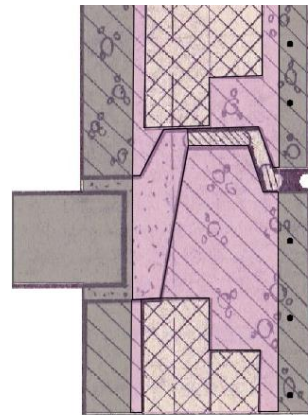
Piirdetarinditele mõjuvad sise- ja väliskliima koormused

- Väliskliima koormused:
 - Temperatuur
 - Niiskus (suhteline, veeauru sisaldus)
 - Päike (otsene- ja hajuskiirgus, pilvisus, UV)
 - Sademed
 - Tuul (kiirus, suund)

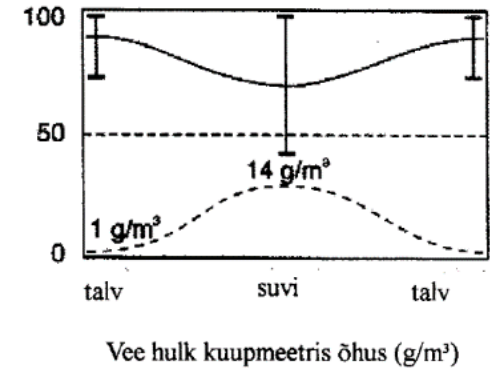


*Blocken, B., Deszö, G., Van Beeck, J., Carmeliet, J. 2009. The mutual influence of two buildings on their wind-driven rain exposure and comments on the obstruction factor. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 97 (5-6). p. 180-196.

VÄLISSEIN



Suhteline niiskus (%RH)

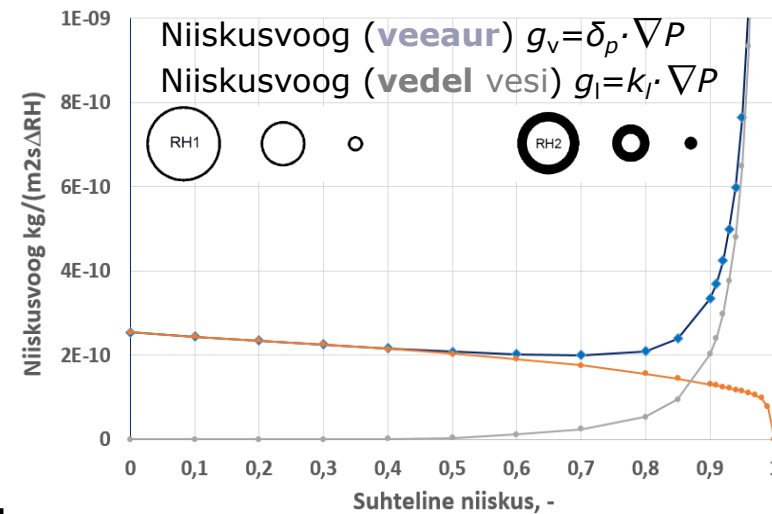
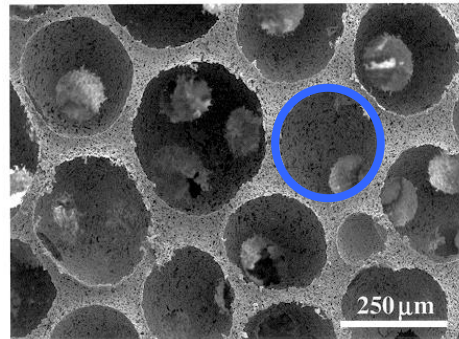


TENDENTSID EESTI KLIIMA OSAS

- Välisõhu temperatuuri tõus (külmumistsüklid, korrosioon, kütte- ja jahutusvajadus)
 - Välisõhu CO₂ taseme tõus (betooni karboniseerumine)
 - Sademete hulga suurenemine (külmakahjustused, korrosioon, üleujutused, pinnaselihked, pinnasevee tase, sademeveeärastus)
 - Päikesekiirguse vähenemine, õhusaaste, pindade määrdumine ning orgaanika teke fassaadidele
 - Ekstreemsete ilmastikuolude sagenemine, s.h tugevad tuuled, Eesti kliimas aastaegade vaheliste erinevuste vähenemine, aastaegadele tavatute ilmade esinemine jms
-
- Seega on vaja ka uusi väliskliima testaastaid (Life IP BuildEst, WP4), et muuta tänast olukorda, kus **olevikus projekteeritakse tuleviku hooneid, kasutades mineviku kliimat**

Niiskuslevi materjalis (tarindis)

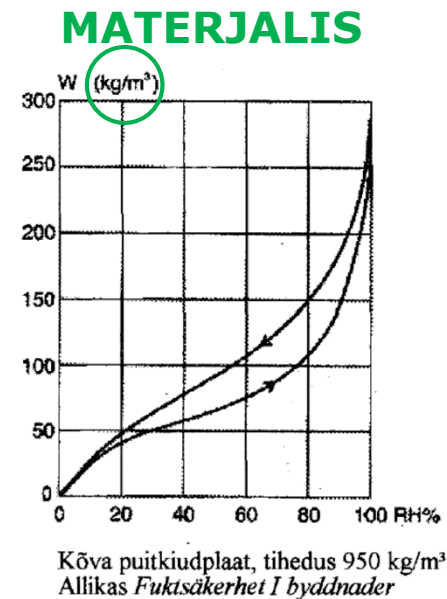
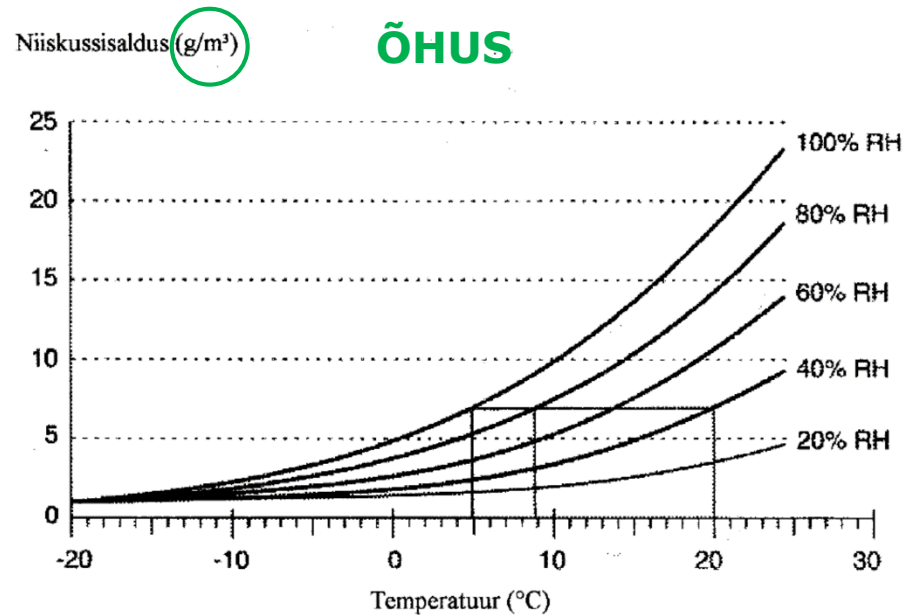
- Hügrooskoopsus – poorse materjali omadus reguleerida enda niiskussisaldust sõltuvalt ümbritsevast keskkonnast
- Poorne materjal koosneb:
 - poori sein
 - veekelme poori pinnal
 - veeaur pooris



- Materjali niiskussisaldus sõltub:
 - ümbritseva õhu suhtelisest niiskusest (RH);
 - temperatuurist (kõrgemal temp. on materjali niiskussisaldus väiksem);
 - kas on tegemist niiskumisega või kuivamisega;
 - materjalist ja tema omadustest

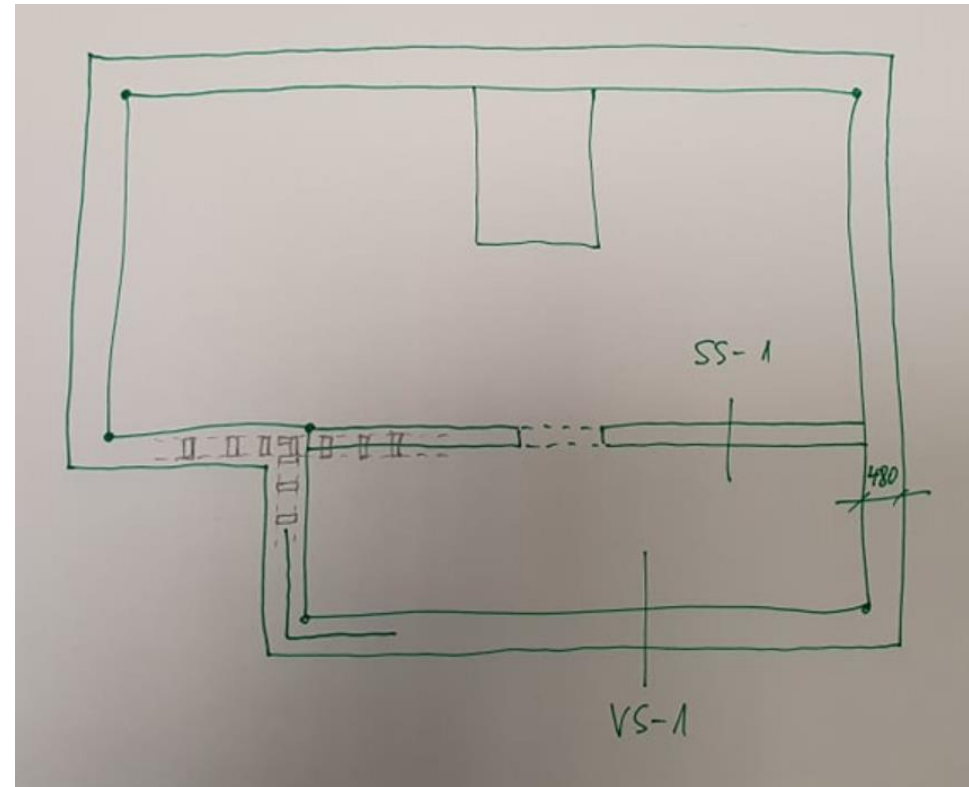
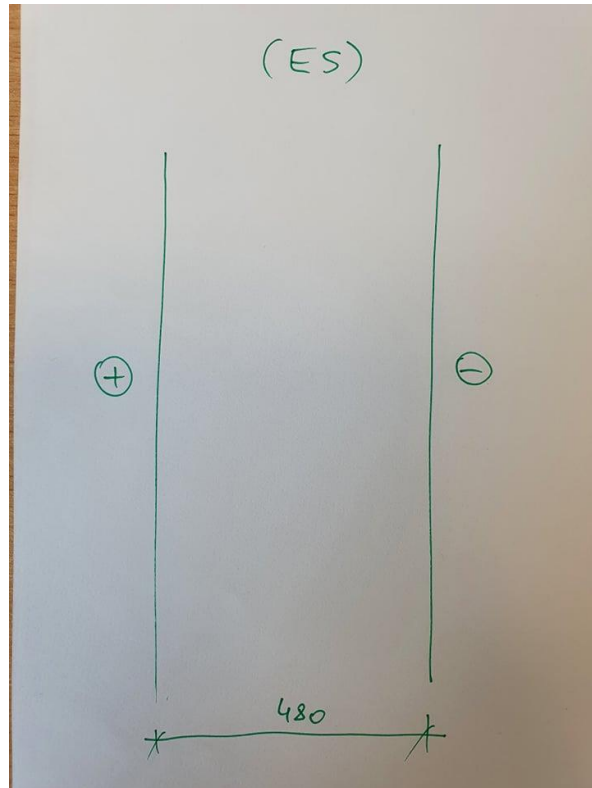
Niiskuslevi materjalis (tarindis)

- Suhteline niiskus RH, %
- Kaaluline niiskus u , kg/kg
- Mahuline niiskus w , kg/m³

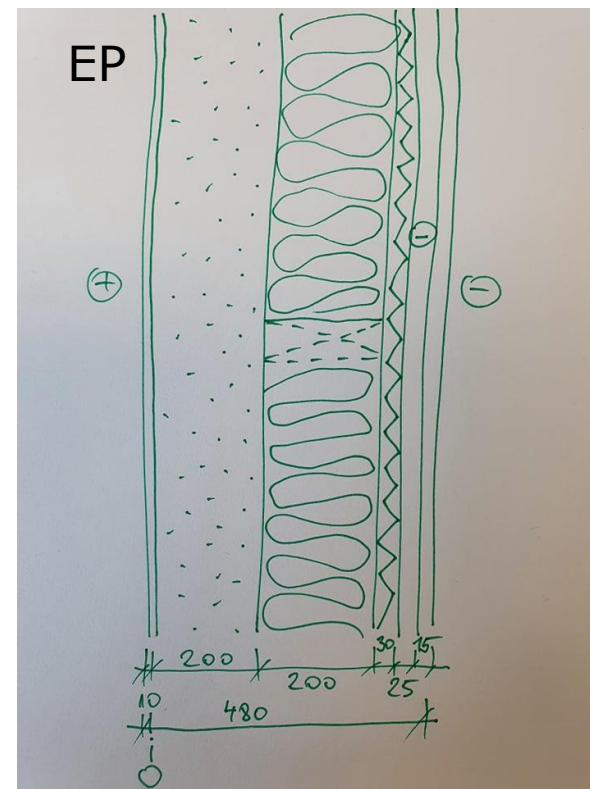
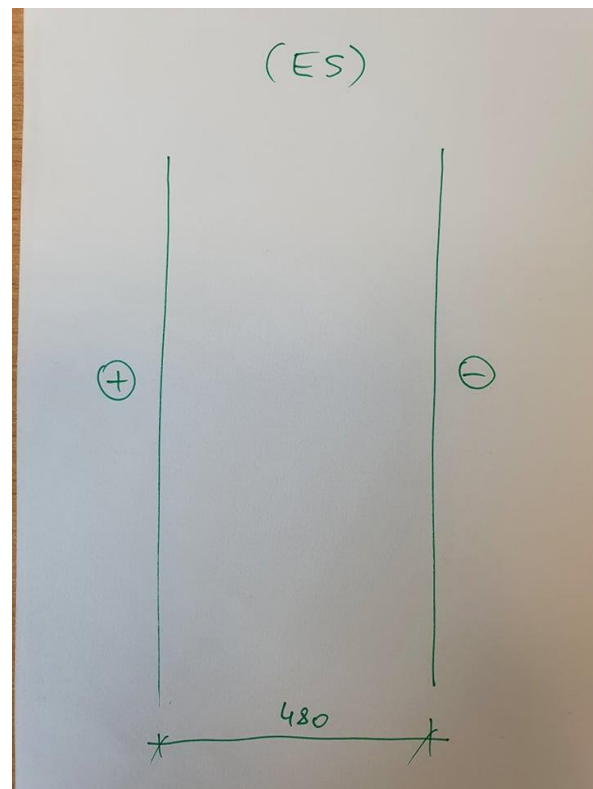


KI 05-10/10-ei

Detailsus projekteerimisel



Detailsus projekteerimisel



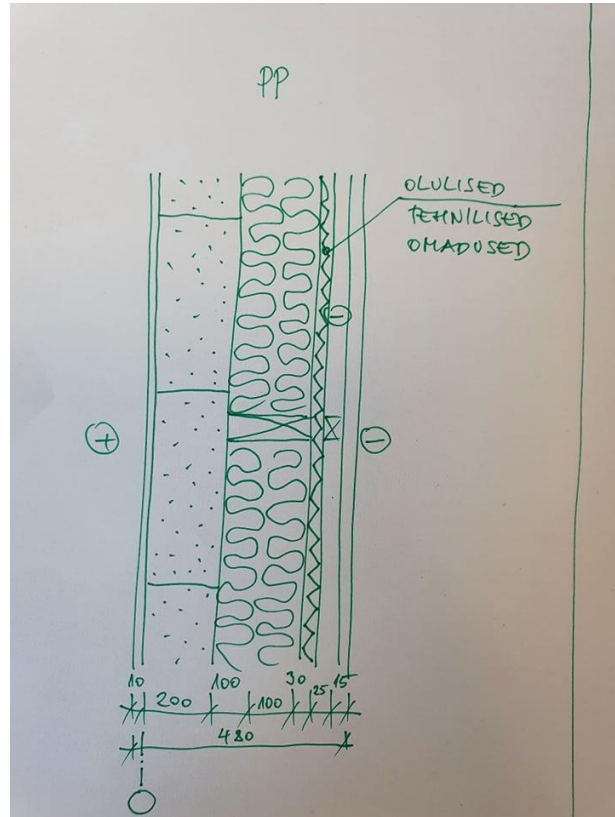
Välisseinale mõjuvad koormused ->

Tarindi **kontseptsioon**

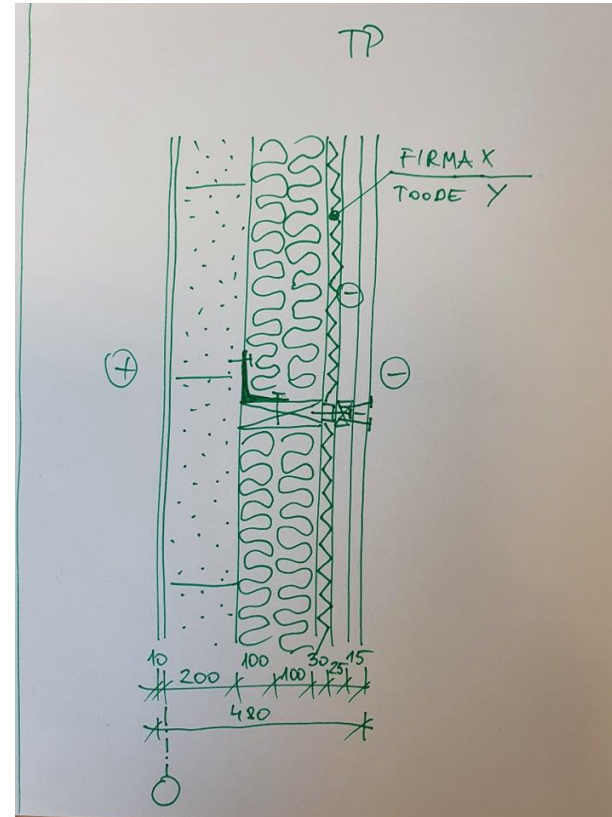
Nõuded tarindile – U , Ψ , f_{Rsi} , R'_w , REI

Sõlmed (EE)?

Detailsus projekteerimisel



Kõikide materjalide **olulised tehnilised omadused**
(referentstoode võib olla esitatud)
+ Tüüpsõlmed



Konkreetsed tooted ja detailid (**referentstoode**)
+ Kõik sõlmed, s.h. läbiviigud
Mida pole joonisel, seda pole olemas

Küsitavad lahendused

- Mitmekihiline soojuspeegeldav materjal:
 - Soojusisolatsioon
 - Õhu- ja aurutõke
 - Aluskate

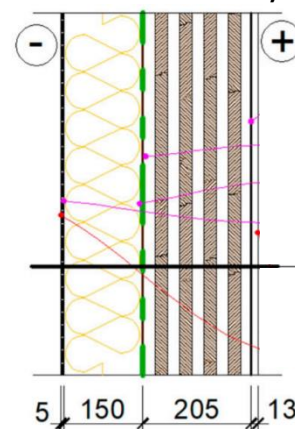


Heliisolatsioon, tolm, tuleohutus?

Ristkihtpuit (CLT) / MHM / palkkrohvitud soojustusega?



Ökosein
niiskus, närilised praod?



V.Kukk

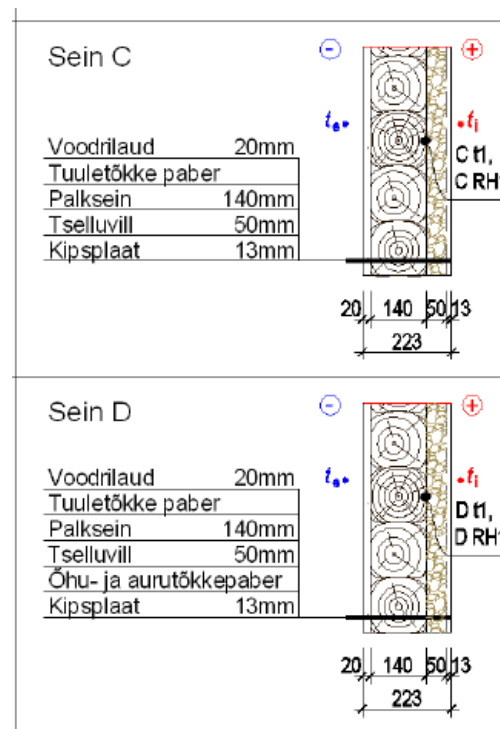
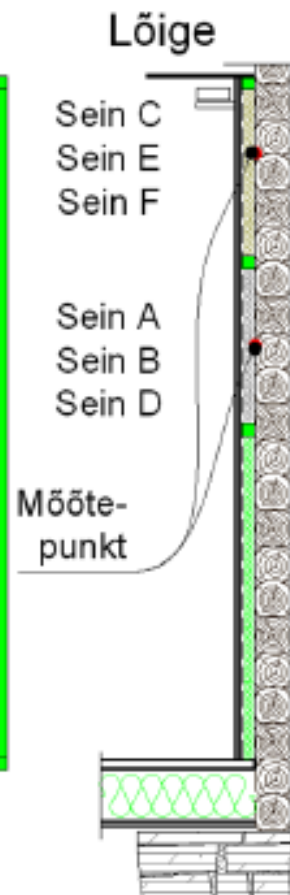
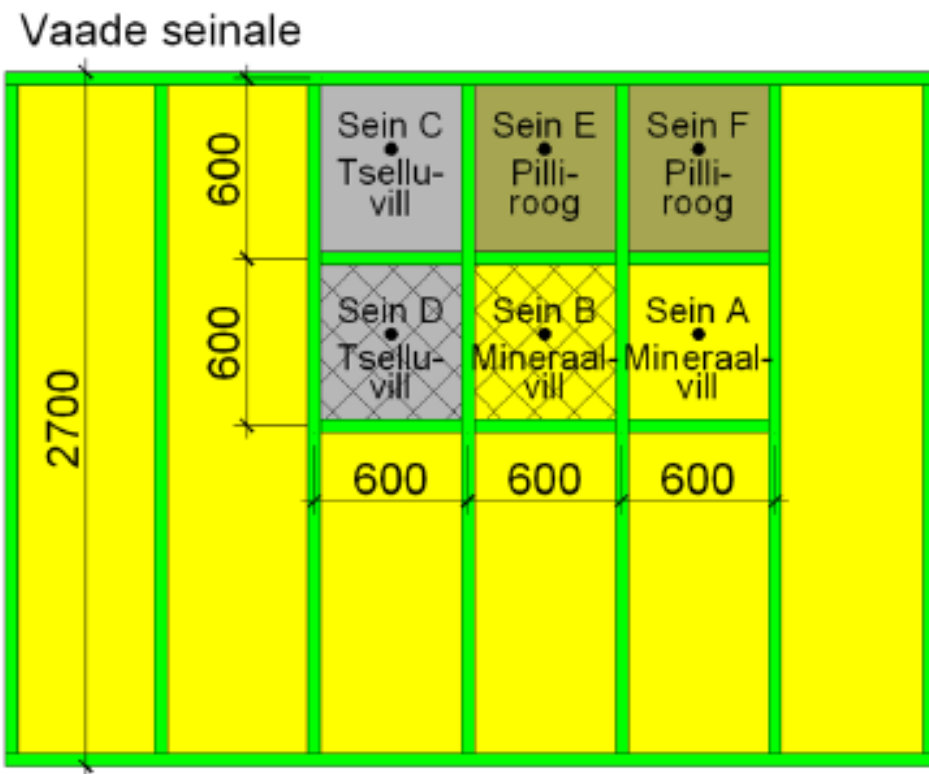
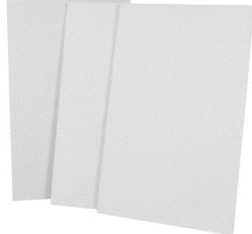


Tampsavi?
Savist plokid?
Ehitusplatsi väljakaeve?

Küsitavad lahendused – seespoolne (lisa)soojustamine

TRADITISIOONILINE:

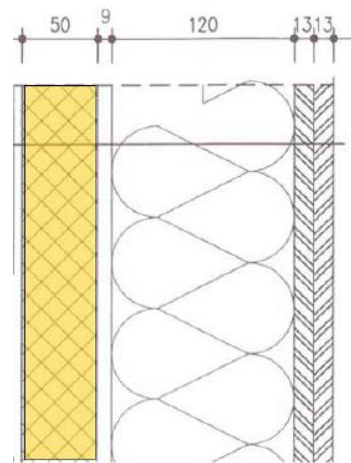
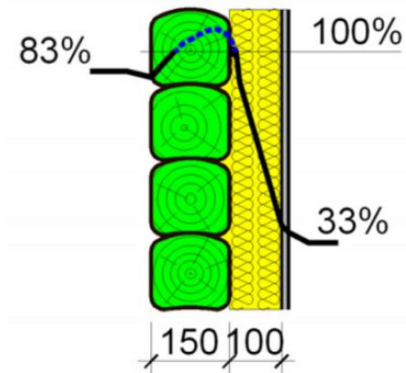
MINERAALSE
KAPILLAARAKTIIVSE
MATERJALIGA (ei sobi
puitseinale):



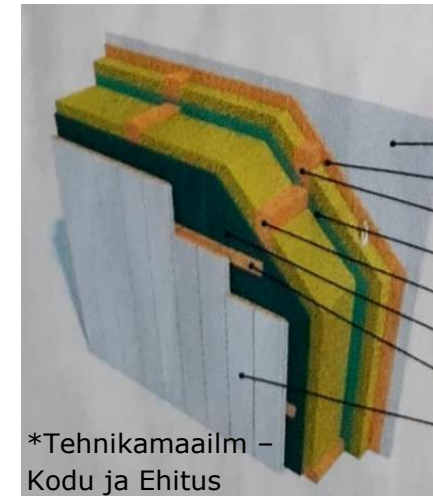
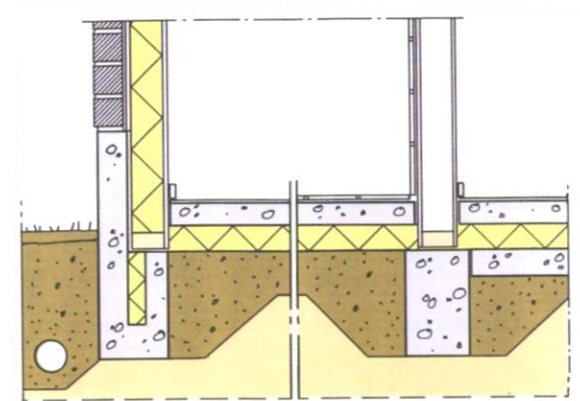
Probleemsed tarindid I

„Lubatav“ seespoolse lisasoojustuse paksus 50-70 mm

Difusioon vs õhulekked? Niiskuskooormus? Ehitusniiskus?



Ilma välise tuulutus-
vaheta sõrestiksein

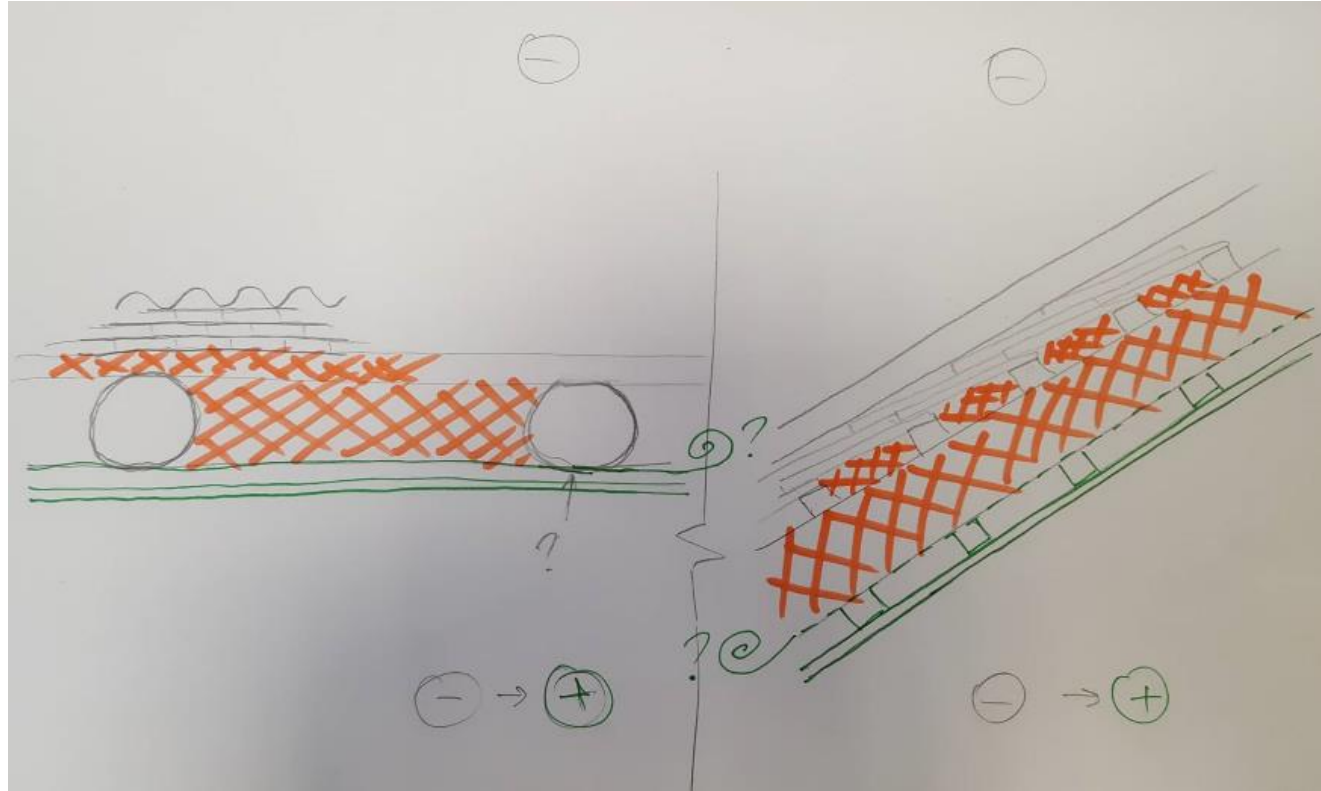


Probleemsed tarindid II

<https://vahuvennad.ee/pur-vaht-on-koige-kergem-viis-kaldlagede-soojustamiseks-tootevalikus-turuliidri-purinova-tooted/>



Kütmata katusealuse väljaehitamine



„Avatud“ vs „suletud“ poor?

Vajalikud on tegelikud mõõdetud füüsikalised omadused!

„Kosmose“ materjalid

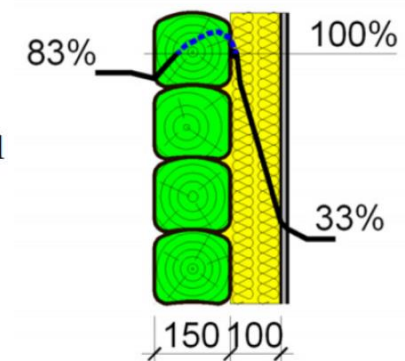
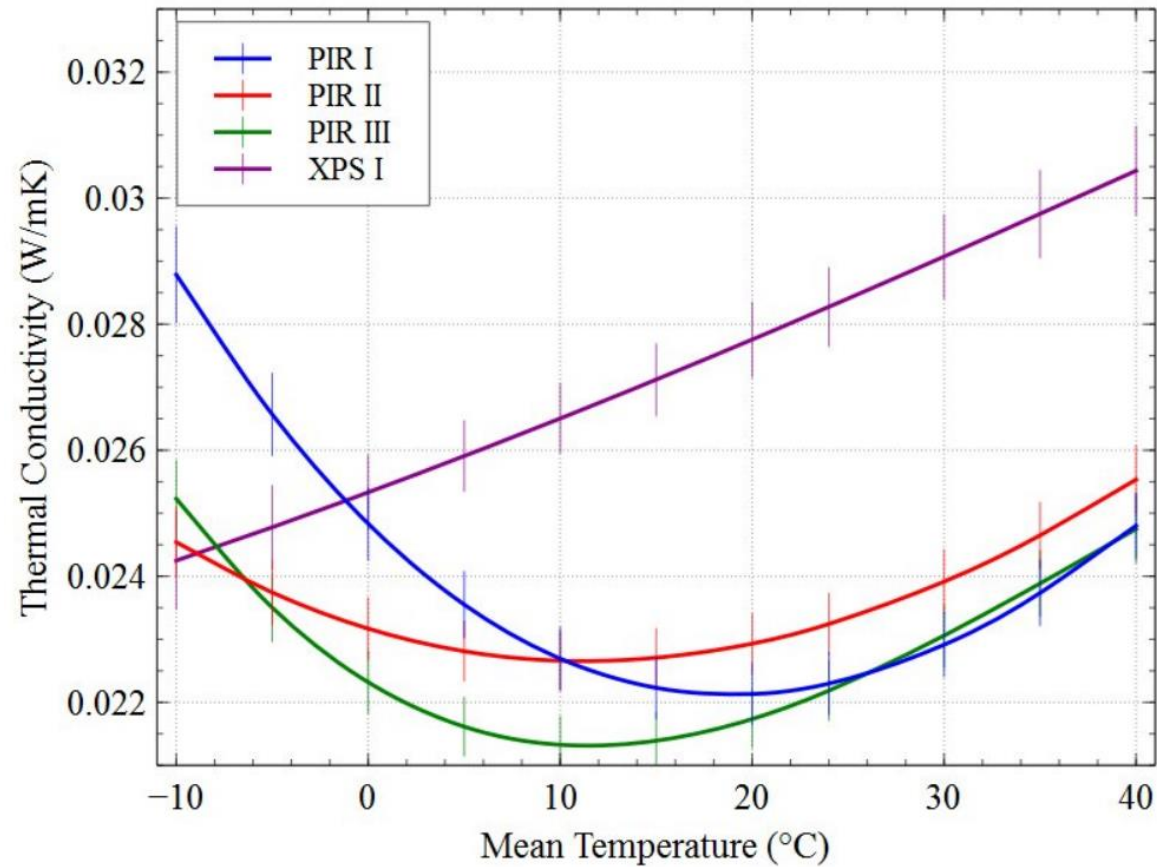


Figure 3. Thermal conductivity as a function of mean temperature for specimens initially measured within 2 weeks of manufacture.

„Kosmose“ materjalid

- Tööpõhimõtte (soojusfüüsika)?
- Omadused?
- Dokumentatsioon?

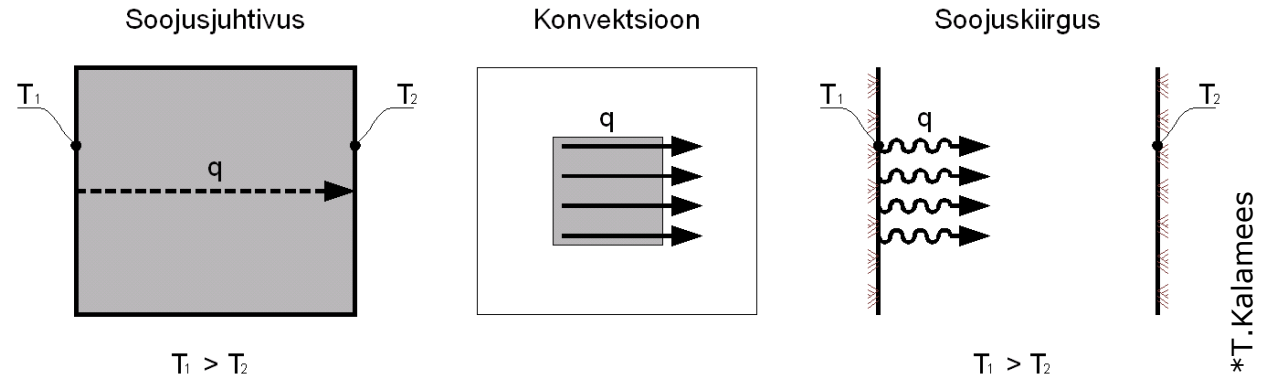
• $R_{se} = 1 / (\alpha_k + \alpha_r)$

$q_{conv,s} = \alpha_k \cdot (T_s - T_a) , W/m^2$

$q_{rad} = \alpha_{rad} \cdot (T_s - T_{sur}) , W/m^2$

$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_R^4 , W/m^2$

- Neelduvustegur α vs emissioonitegur ε



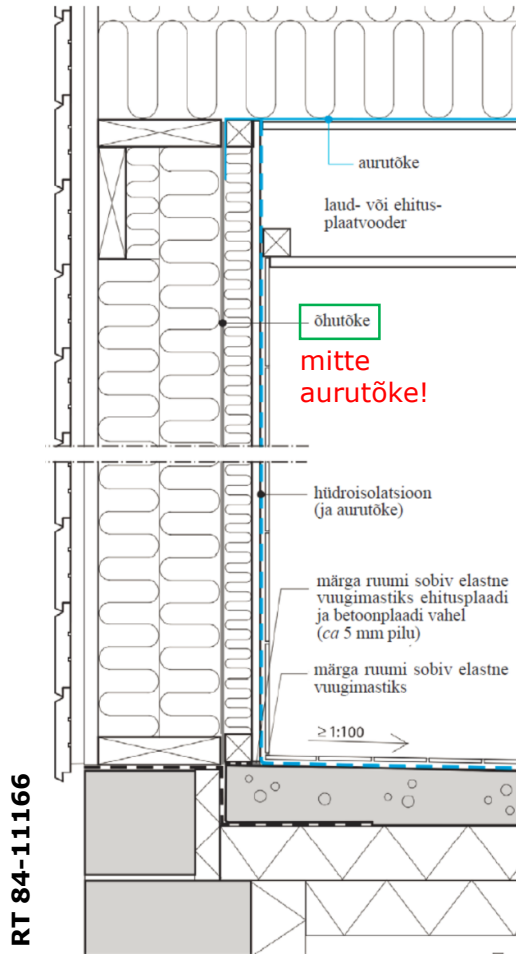
Application temperature of BRONYA superfine heat insulation

BRONYA SUPERFINE HEAT INSULATION

The chart shows a temperature scale from -35 °C to +150 °C. A large red and orange oval highlights the application range from approximately -35 °C to +150 °C. Below the scale, four product types are listed with corresponding color-coded boxes:

- WINTER** (Yellow box)
- FACADE** (Orange box)
- ANTICOR** (Red box)
- CLASSIC** (Dark red box)

Märja ruumi seinad (kui jääb aega)



Joonis 5. Märgruumi seinas ei tohi hüdroisolatsiooni taga olla aurutõket. Õhutõke (õhutõkkepaber või -plaat) aga peab olema

- Märja ruumi paiknemine hoones?
- Välisseinte korral tuleb jälgida:
 - seinad ei tohi tekkida kahte veeaurutihedat kihti (aurutõke ja veetõke ehk hüdroisolatsioon)
 - veetõkke ja aurutõkke veeaurujuhtivused oleksid piisavad tagamaks välisseina niiskustehnilist toimivust $S_d > 1...10...100$ 1000 m (oleneb tarindist ja niiskuskooormusest)
- Kui seinad kaetakse keraamiliste- või klinkerplaatidega tuleb nurgavuugid, sein- ja põrandaplaadistuse vaheline vuuk alati täita elastse mastiksiga (soovitavalt happeline sanitaarsilikoon)

Märja ruumi seinad (kui jääb aega)

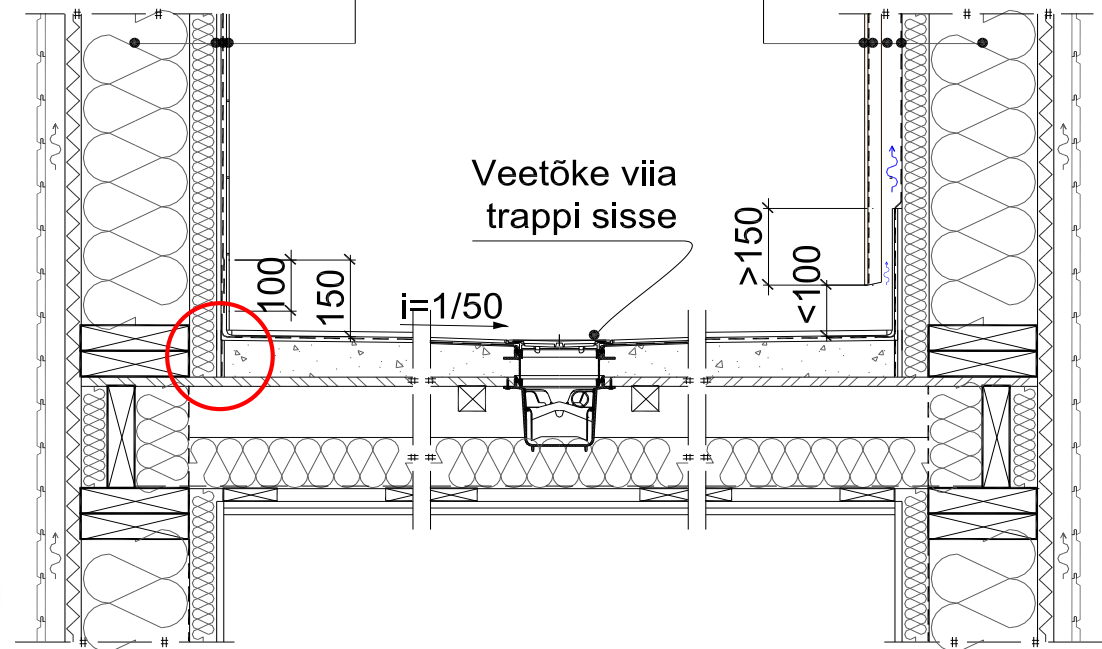
Kompaktne sein
 Keraamilised plaadid
 Veetõke $Z_p > 1,35 \cdot 10^{11} \text{ msPa/kg}$
 Välisseina tarind

Õhuvahega sein
 Keraamilised plaadid
 Veetõke
 Seinaplaat
 Õhuvaheruumid
 Õhu- ja aurutõkketihendus
 Välisseina tarind

Märj ruum

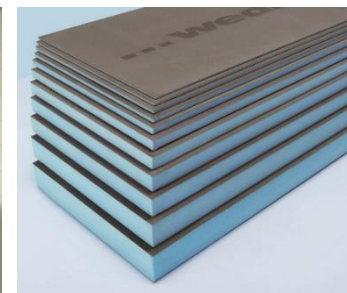
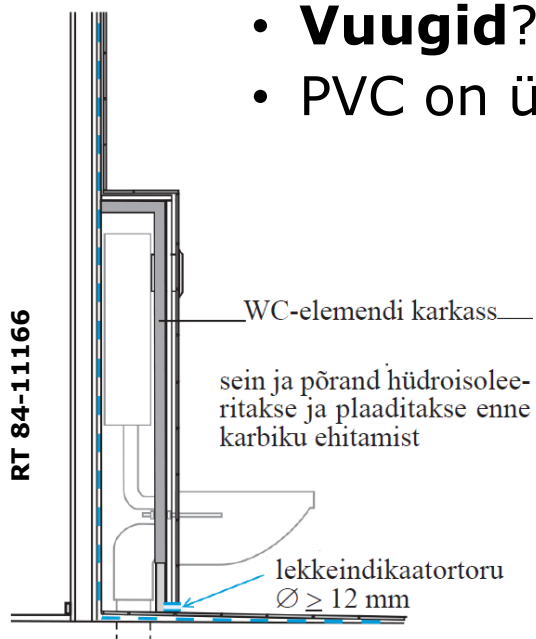
Välisõhk

Välisõhk



Märja ruumi seinad (kui jääb aega)

- Veetõkkeks sobivad näiteks:
 - **veetihedad isolatsiooniplaadid** pressitud ja pindarmeeritud polüstüreen.
Veekindel vahtsüdamik on mõlemalt poolt kaetud klaasvõrkriide ja polümeertsementmördiga, et tagada plaadi jäikus ja vastupidavus
 - **Vuugid?** Muuhulgas ei ole veetihedad ka keraamiliste plaatide vuugid
 - PVC on ühtlasi nii veetõkkeks kui ka viimistluseks



Märja ruumi seinad (kui jääb aega)

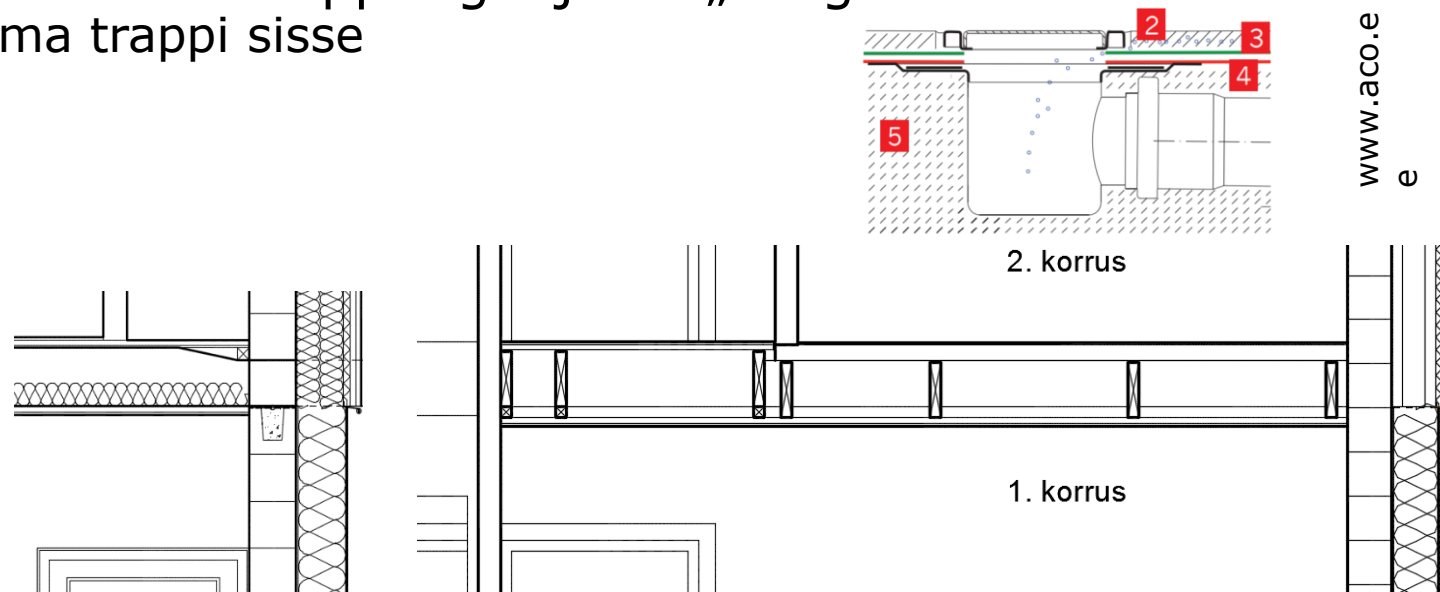
- Märja ruumi seinte ehitamiseks on sobivaim tarind **plokkmüüritis**
- **Plaatseinte** puhul tuleb see ehitada **kivist soklile** ning plaatidena ei sobi puidu- ega kipsi- (ega teised õhksideained, nt magneesiit) põhiseid plaadid
- Sobilikeks ehitusplaatideks on pind armeeritud **XPS**, pindarmeeritud **tsementkiud** plaat, nt Knauf **Aquapanel** nt Gyproc **Aquaroc**

Mitu läbiviiku on veetõkkest?



Märja ruumi põrand (kui jääb aega)

- **Eelistatavaim** lahendus **betoonpõrand**;
- Tulenevalt põrandatarindi erinevast paksusest võib olla vajadus teha märgade ruumide aluspõrand teistest ruumidest ~50 mm madalamale;
- Trapi asukoht suurima veekoormusega alal, suurte ruumide korral pigem ruumi keskel (kalded, s.h arvestades ka vahelae läbipaindeid)
- Kohttrapp või renntrapp? Igal juhul „nõrguv“ ehk hüdroisolatsioon peab minema trappi sisse



Kuidas soojustust õigesti paigaldada

(kui jääb aega)

- Soojustuse paigaldamise nõuded tulenevad:
 - Tootja paigaldusjuhhis
 - Standardid, nt EVS 908-1; EVS-EN ISO 6946
 - Süsteeminõuded, nt ETAG 004 -> EAD (nt 0400683-00-0404)
 - Ehitusteabe juhendkaardid, nt 0404-0449 ET-2 (õhekrohviga fassaadisoojustuse liitsüsteemid)
 - Ehitamise üldised kvaliteedinõuded (RYL)
 - Ehitamise hea tava
- PS! Lisaks nõuetele soojustuse paigaldamisele on liimitava soojustuse puhul olulised nõuded aluspinnale, nt puhas, kuiv (võib olla vajalik niisutamine), temperatuur, tugevus, tasapindsus jne

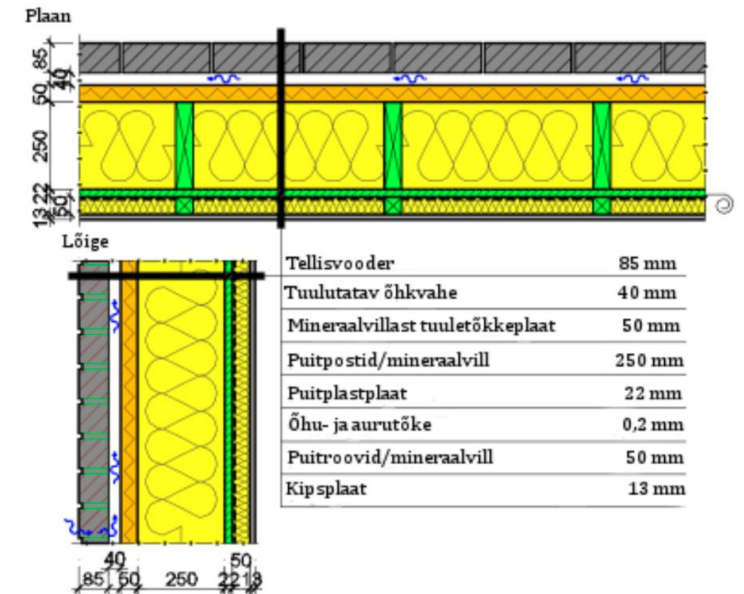
Mineraalvilla paigaldamine (kui jääb aega)

EVS 908-1:2016



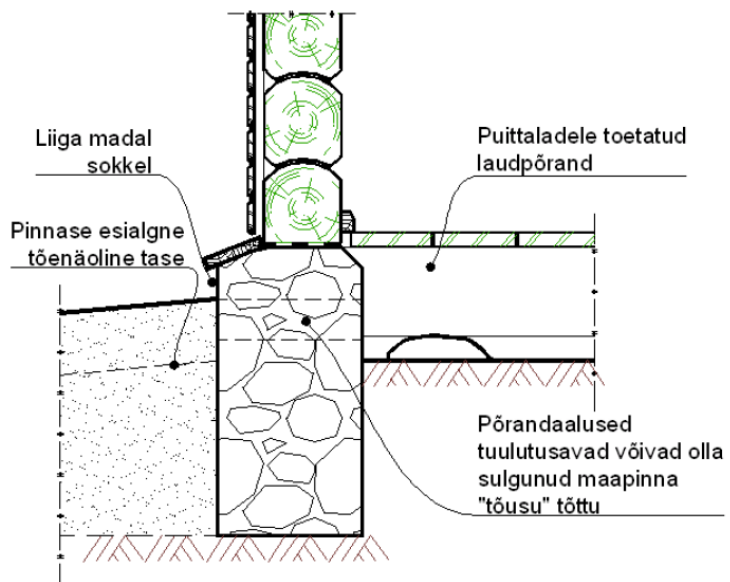
- Vill peab täitma kogu talle ettenähtud ruumi
 - Plaadi standardlaius 560/565 mm on sobilik tugevussorteeritud, kuivast hõõvelpuidust karkassi sammu 600 mm korral (postide vahe on 555 mm). Tegelik postide keskmine samm kasutamiseks energiaarvutuses on mõnevõrra väiksem
 - Plaadid paigaldatakse vähemalt kahes kihis, vuugid nihkes

- Suure õhueri juhtivusega materjalid nagu pehme mineraalvill peavad olema sisekeskkonna poolt kaetud õhu-(ja auru)tõkke ning väljapoolt tuuletõkkega
- Minimaalne villa tihedus?

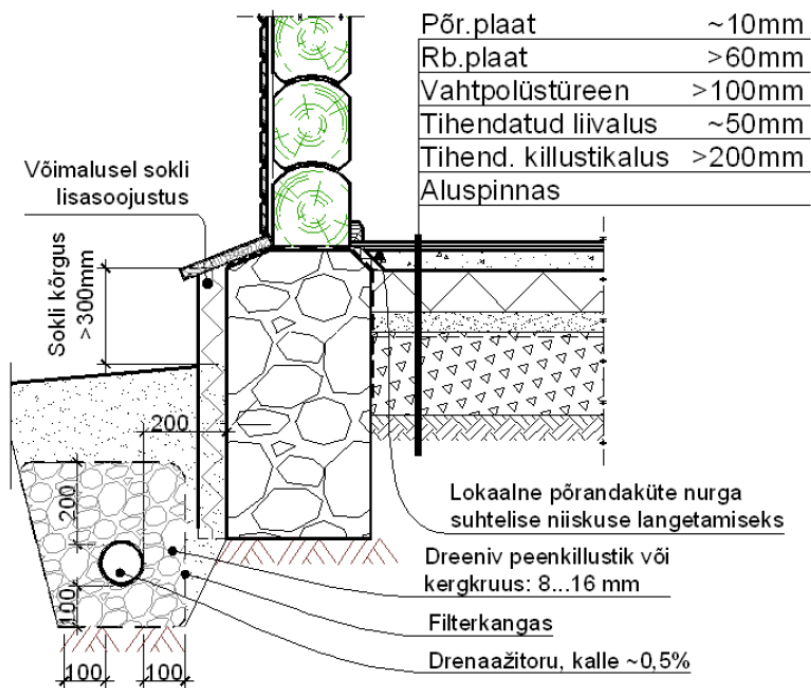


Näiteid sõlmedest (kui jääb aega)

Renoveerimiseelne olukord



Renoveerimisjärgne olukord



<https://kredex.ee/et/uudised/kredexi-toetusel-valminud-maaelamute-uuring>