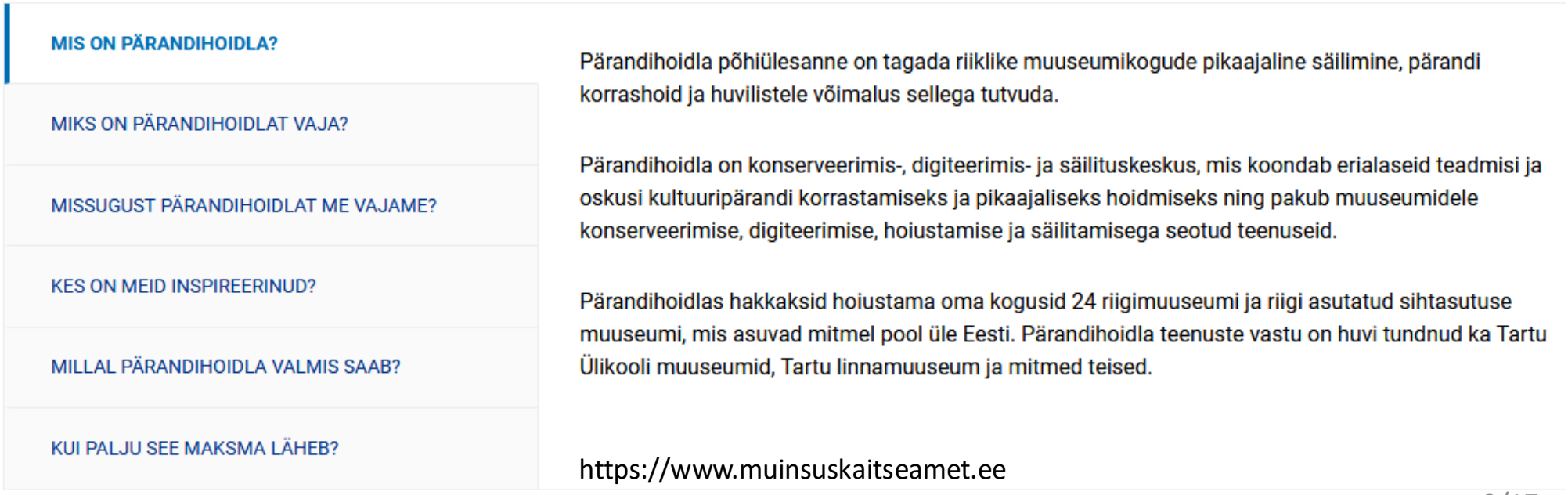
HOIDLATE SISEKLIIMASÜSTEEMID 10 KORDA VÄIKSEMA ENERGIAKULUGA

Alo Mikola

08.10.2024

UURINGU EESMÄRGID JA LÄHTEÜLESANNE

- Uuringu eesmärgiks on luua üldhoidla sisekliima tagamise põhimõtteline lahendus, koostada vastav hoidla ruumikaart ja simulatsioonarvutuste arvutusjuhend.
- Erinevalt tavapärasest aastaringselt samade sisekliima parameetrite seadeväärtuse tagamisest, tuleks sisekliimaparameetreid tagada vaid nende alumise või ülemise piiriväärtuse lähedases piirkonnas.
- Antud tööga ennetatakse probleemi, kus projektis lahendatakse hoidla üldventilatsiooniga ning lisatakse seletuskirja, et „sisekliimaparameetrite tagamine toimub täppiskonditsioneeriga".



MIS ON PÄRANDIHOIDLA?

MIKS ON PÄRANDIHOIDLAT VAJA?

MISSUGUST PÄRANDIHOIDLAT ME VAJAME?

KES ON MEID INSPIREERINUD?

MILLAL PÄRANDIHOIDLA VALMIS SAAB?

KUI PALJU SEE MAKSMA LÄHEB?

Pärandihoidla põhiülesanne on tagada riiklike muuseumikogude pikaajaline säilimine, pärandi korrashoid ja huvilistele võimalus sellega tutvuda.

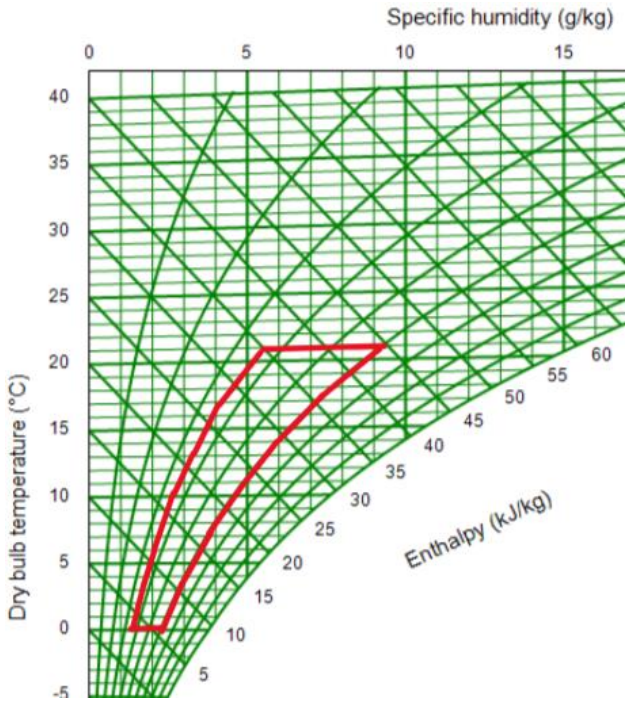
Pärandihoidla on konserveerimis-, digiteerimis- ja säilituskeskus, mis koondab erialaseid teadmisi ja oskusi kultuuripärandi korrastamiseks ja pikaajaliseks hoidmiseks ning pakub muuseumidele konserveerimise, digiteerimise, hoiustamise ja säilitamisega seotud teenuseid.

Pärandihoidlas hakkaksid hoiustama oma kogusid 24 riigimuuseumi ja riigi asutatud sihtasutuse muuseumi, mis asuvad mitmel pool üle Eesti. Pärandihoidla teenuste vastu on huvi tundnud ka Tartu Ülikooli muuseumid, Tartu linnamuuseum ja mitmed teised.

https://www.muinsuskaitseamet.ee

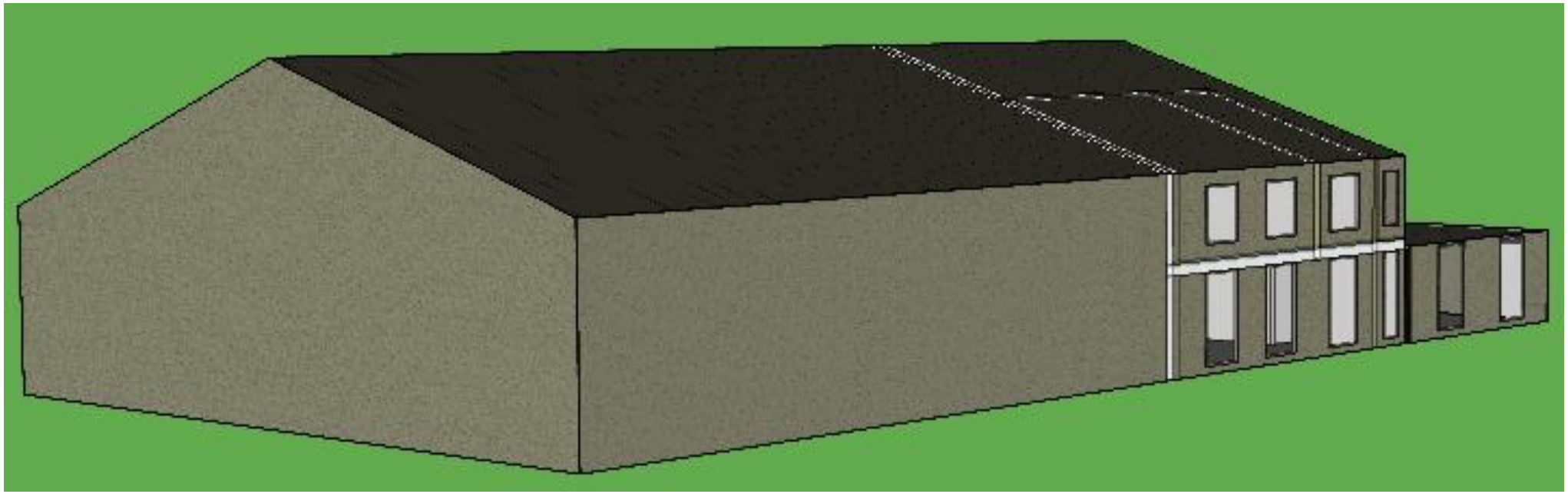
ÜLDHOIDLA SISEKLIIMA LÄHTEPARAMEETRID

- Sõltuvalt säilitatavatest esemetest on üldhoidla suhtelise niiskuse alumine piir **35**-40% ja ülemine piir 55-**60**%.
- Temperatuur ei tohi ületada **21** °C ning temperatuuril ei pruugi olla alumist piiri.
- Projekteerimisel kasutatavad lubatud vahemikud tuleb täpsustada igale konkreetsele hoidlale eraldi, lähtudes konkreetsetest säilikutest.
- Üldjuhul peavad temperatuur ja suhteline niiskus püsima lubatud vahemikus vähemalt **95%-i** jooksul ruumide kasutusajast ning hetkelisi ja väikesed kõrvalekaldeid aktsepteeritakse.
- Uuringus lähtutakse järgmistest temperatuuri ja suhtelise niiskuse piirväärtustest:
  - õhutemperatuur vahemikus **0 – 21 °C**,
  - suhteline õhuniiskus vahemikus **35 – 60%,**
  - suhteline niiskuse varieerumine peab jääma alla **10%-i ööpäevas**,
  - temperatuuri muutumise kiirus peab jääma alla **1°C-i tunnis**.



HIIUMAA HOIDLA LÄHTEPARAMEETRID

- Üldhoidla suletud netopind on 386 m^2 ja ülejäänud kontoriruumide netopind on 370 m^2.
- Üldhoidla on 4-8 m kõrge ruum, mis on osaliselt vahekorrustega liigendatud.
- Vahekorruse pindala on vahemikus 100-150 m^2 ja vahekorrus ei ole seinaga eraldatud ja moodustab üldhoidla õhuruumiga ühise mahu.
- Ladustamine hakkab toimuma kõrgetel kompaktriiulitel, mis tähendab, et ettenähtud sisekliima parameetrid tuleb tagada sisuliselt kogu ruumi kõrguses.



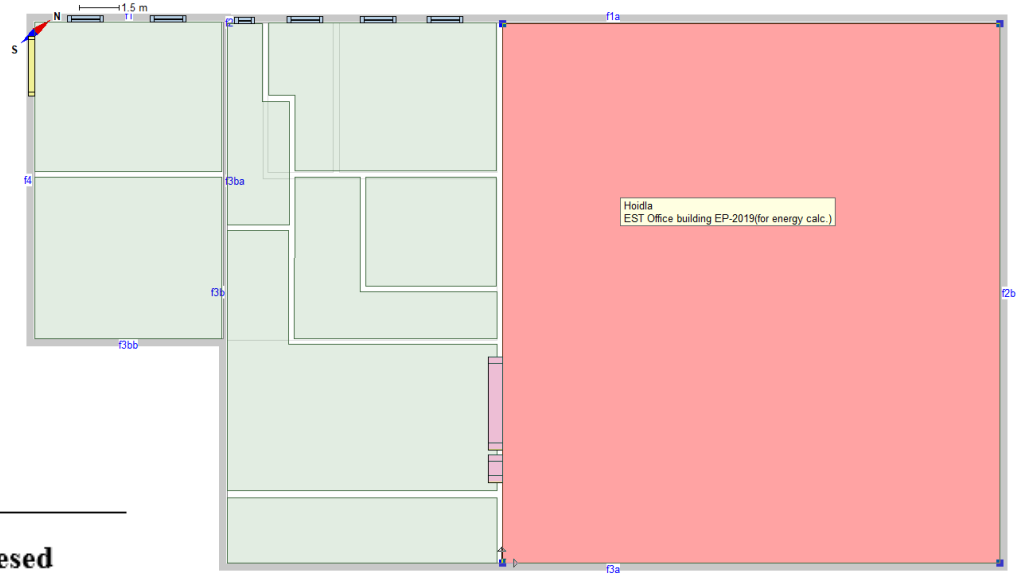
TAL TECH

HIIUMAA ÜLDHOIDLA MUDELI LÄHTEPARAMEETRID

- Baasmudeli lähteparemeetriks õhulekkearvu leidmisel kasutati piirete keskmist õhulekkearvu väärtust q_{50}=1,0 $m^3/(h*m^2)$.
- Hoidlaruumi vabasoojuste ja kasutusprofiilide loomisel lähtuti sellest, et inimesi ruumis üldiselt ei viibi ja vabasoojused nii valgustusest ja seadmetest on marginaalsed.
- Simulatsioonide teostamisel arvestatakse ka üldhoidla- ja tulmeruumi vahelise väikese siseukse avamise mõjuga.

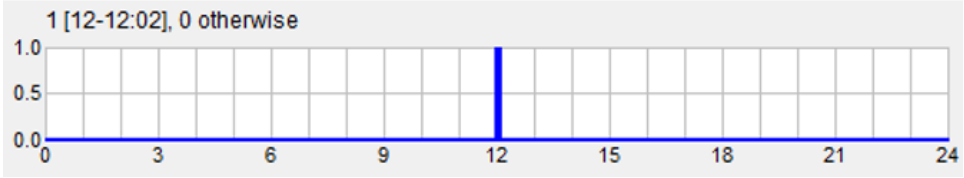
Tabel 1. Geomeetria mudelis kasutatud piirdetarindite omadused.

Piirdetarindi tüüp	Soojusläbivus (U-arv), W/(m^2*K)
Välissein	0,10
Hoidla sisesein	0,28
Põrand pinnasel	0,10
Katuslagi	0,08
Välis- ja siseuksed (tulmeruumi ja hoidla vaheline uks)	1,0
Aknad	0,83

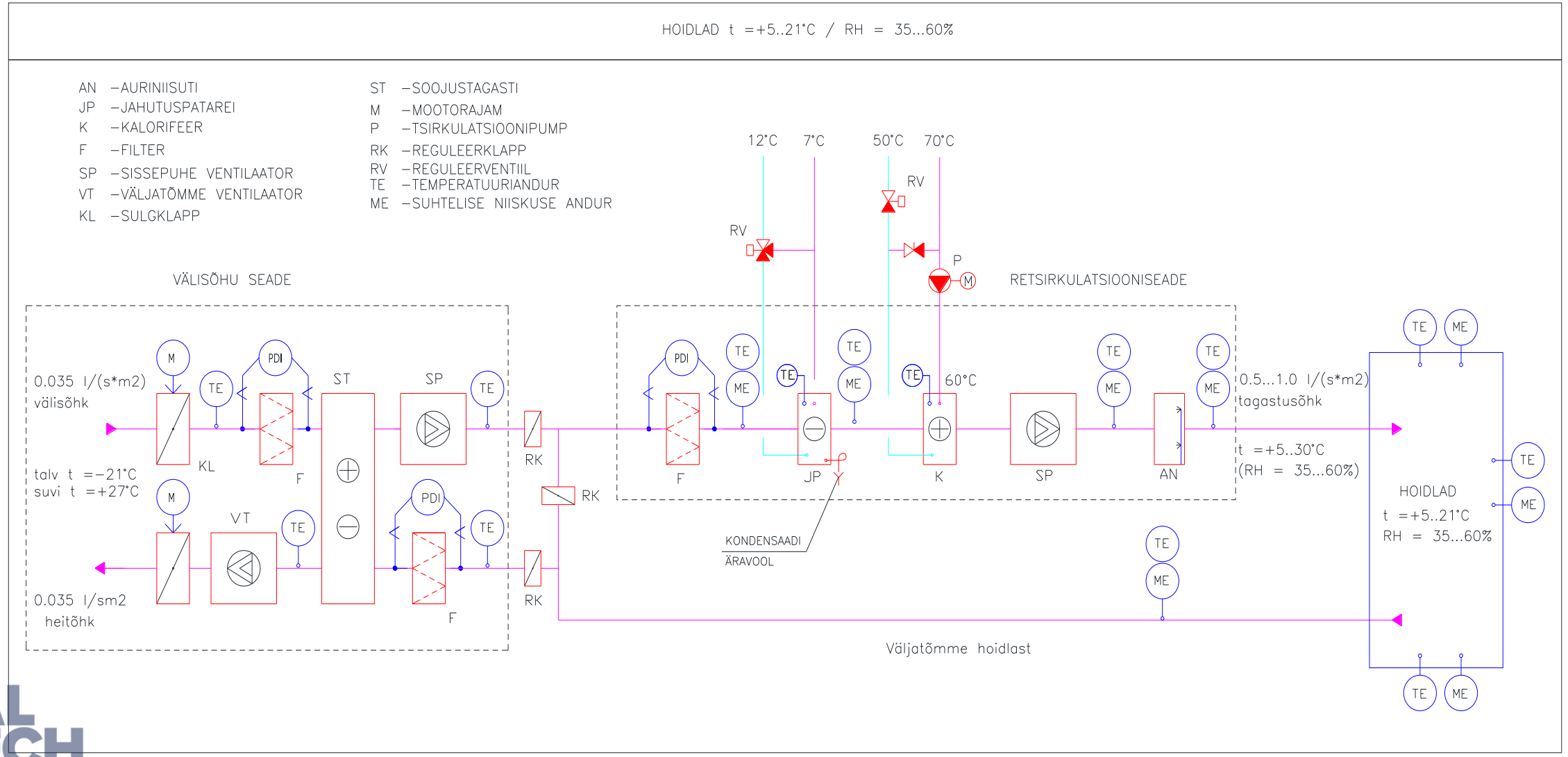


Tabel 2. Dünaamilises energiasimulatsioonis kasutatud vabasoojused.

Hoone kasutusotstarve	Kasutusaste	Valgustus	Seadmed	Inimesed	
	[-]	[W/m^2]	[W/m^2]	[W/m^2]	[m^2/W]
Kontorihoone	0,55	10	12	5	17
Üldhoidla	0	0	0	0	0
Muud hoidlad kontoriplokis	0,2	10	0	0	0



HOIDLA ÕHUTÖÖTLUSLAHENDUSE PÕHIMÕTTELINE SKEEM



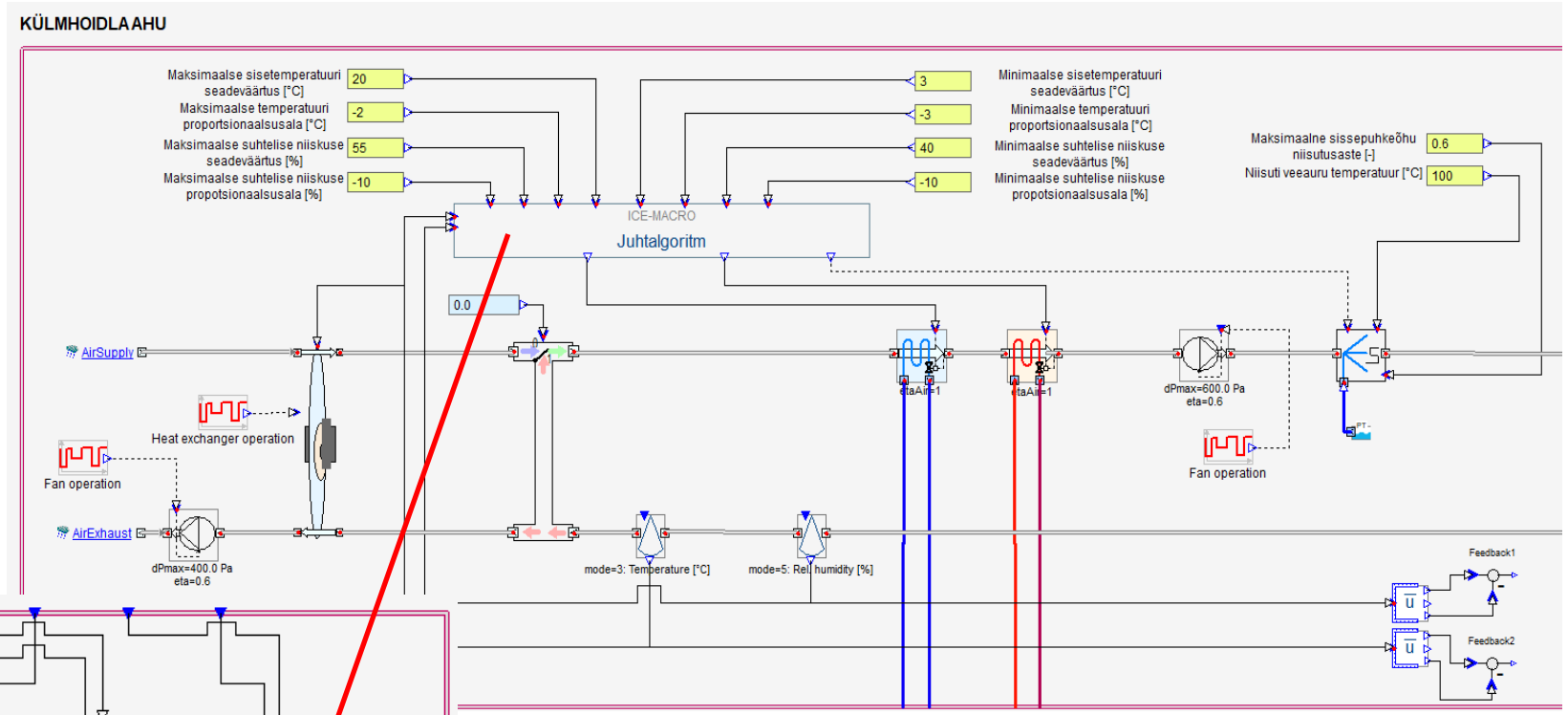
ÜLDHOIDLA BAASMUDELI LÄHTEPARAMEETRID

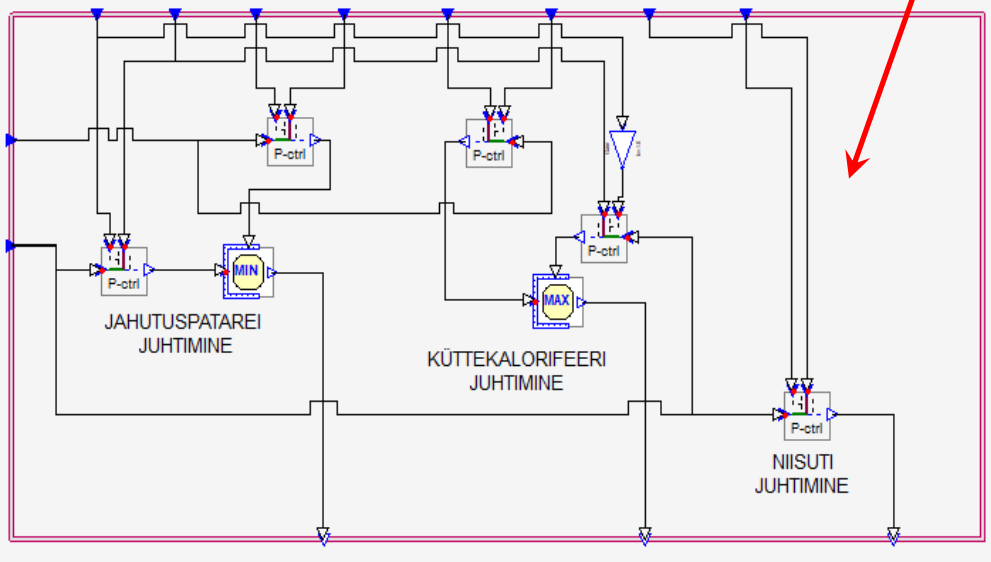
- Baasmudelis on üldhoidla õhuvahetuseks ringlusõhuga võetud 0,5 l/(s*m^2).
- Välisõhu vooluhulk on leitud arvestusega, et üldhoidla õhuvahetus peaks olema vähemalt 1 kord 2 ööpäeva jooksul (0,035 l/(s*m^2)).
- Baasmudelis on agregaadi välisõhu osal kasutuses hügroskoopne rootorsoojustagasti, mille temperatuuri suhtarvuks on arvestatud 0,8, niiskustagastuse suhtarvuks samuti 0,8 ja soojustagasti jäätumise vältimiseks ei lasta heitõhu temperatuuril langeda alla -5 °C.
- Hoone soojusvarustussüsteemina ette nähtud avatud puurkaevudega maasoojuspump.
- Elektrienergia tarbimise hindamisel kasutatud soojuspumba aasta keskmist soojustegurit (SCOP) 4 ja külmamasina jahutustegurit (SEER) 3,5.

TAL TECH

HOIDLA ÕHUTÖÖTLUSLAHENDUSE IDA ICE MUDEL

- Soojustagastiga mehaaniline SP/VT seade koosneb:
  - välisõhu klappidest,
  - filtritest,
  - soojustagastist,
  - ventilaatoritest.





- Retsirkulatsiooniseade koosneb:
  - filtrisektsioonist,
  - jahutuspatareist,
  - küttekalorifeerist,
  - ventilaatorist,
  - aurniisuti sektsioonist.

SÜSTEEMI TOIMIMISE LÜHIKIRJELDUS

- Külmal perioodil niisutatakse ringlusõhku **aurniisutiga**.
- Õhu kuivatamine toimub külmal perioodil **sisetemperatuuri tõstmisega** küttekalorifeeris.
- Soojal perioodil jahutatakse ringlusõhku **esmalt jahutuspatareis**, mistõttu kondenseerub õhust niiskust välja, ja seejärel **järelsoojendatakse** jahutatud õhku vajadusel **küttekalorifeeris**.
- Küttekalorifeeri juhitakse arvestades nii maksimaalse ruumiõhu suhtelise niiskuse taset kui ka minimaalset siseõhu temperatuuri.
- Jahutuspatarei järgne minimaalne suvine ringlusõhu temperatuur on baasmudeli simulatsiooni puhul võetud 13 °C.
- Õhu temperatuuri pärast jahutuspatareid juhitakse vajaduspõhiselt arvestades samaaegselt nii kuivatus kui ka jahutusvajadusega.

TAL TECH

TULEMUSED: ÜLDHOIDLA ARVUTUSLIKUD KÜTTE-, JAHUTUS- JA NIISUTUSVÕIMSUSED

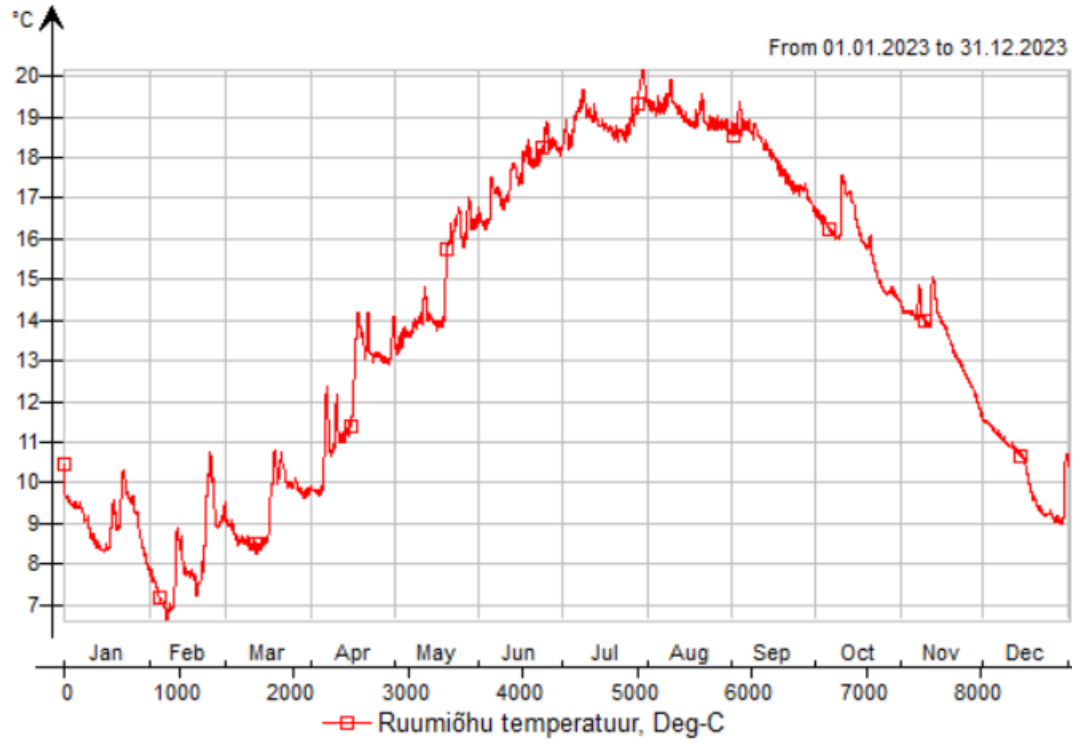
- Minimaalne sissepuhkeõhu temperatuur, mille juures suhtelise niiskuse varieerumise tase ületab lubatud määra (10% ööpäevas) alla 1,5% ajast, on 30 °C.
- Kui hoidla õhuvahetus on 1,0 l/(s*m^2), siis on hoidla maksimaalne vajalik sissepuhkeõhu temperatuur 26 °C.
- Hoidla RH taseme tagamiseks suurim vajalik niisutusvõimsus on hoidla siseõhu temperatuuril ca 9 °C.

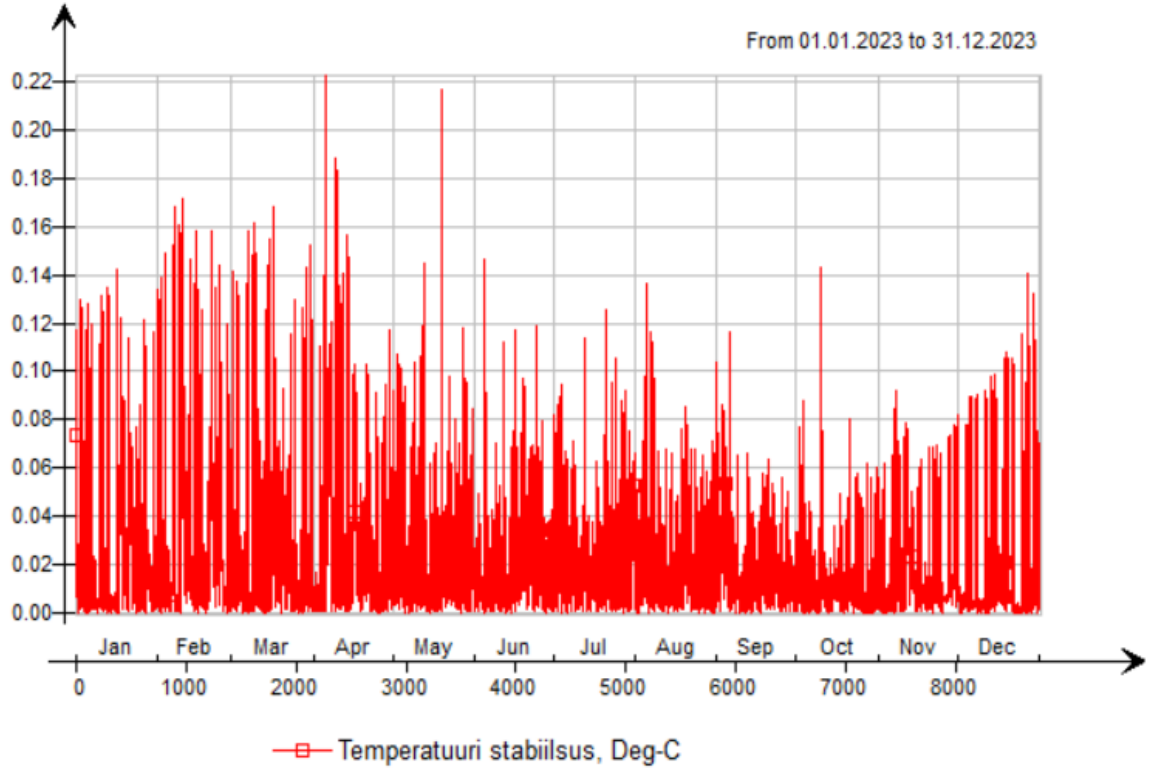
Tabel 3. Üldhoidla arvutuslikud kütte-, jahutus- ja niisutusvõimsused.

Õhutöötlemissüsteemi lahendus/süsteemi arvutuslik võimsus	Vaja-lik ringlus-õhu norm, l/(s*m^2)	RH varieeru-mine üle 10% ööpäevas, (h/aastas)/ (%)	Kütte-kalorifeeri võimsus, kW	Jahutus-patarei võimsus, kW	Aurniisuti niisutusvõimsus, kg/h
Baasmudeli lahendus	0,5	123/ 1,40	5,92	2,63	0,46
Suurema õhuvahetusega lahendus	1,0	67,1/ 0,77	9,88	2,70	0,46

TULEMUSED: ÜLDHOIDLA SISETEMPERATUURI TAGAMINE

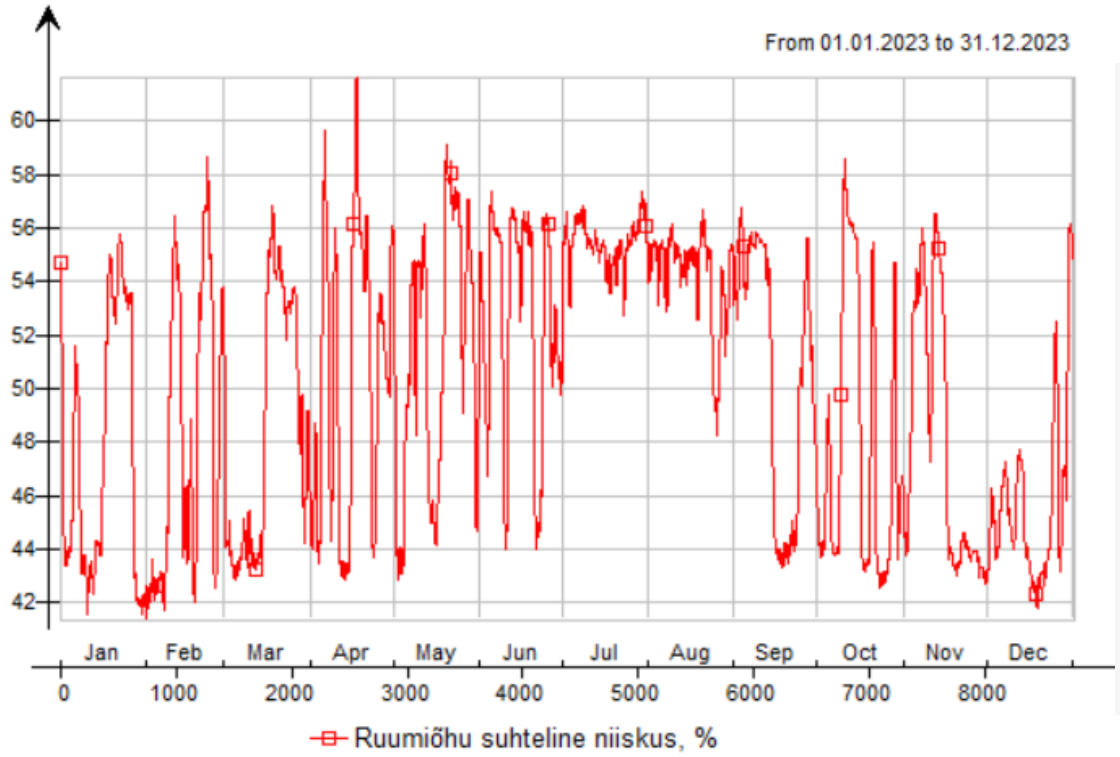
- Baasmudeli puhul on maksimaalne suvine hoidla sisetemperatuur 20,1 °C ja minimaalne talvine temperatuur vastavalt 6,6 °C.
- Maksimaalne ühe tunni pikkuse perioodi temperatuuri varieerumine on ca 0,22 °C, mis jääb samuti lubatud piiridesse (maksimaalselt lubatud temperatuuri varieerumine 1 °C/h).

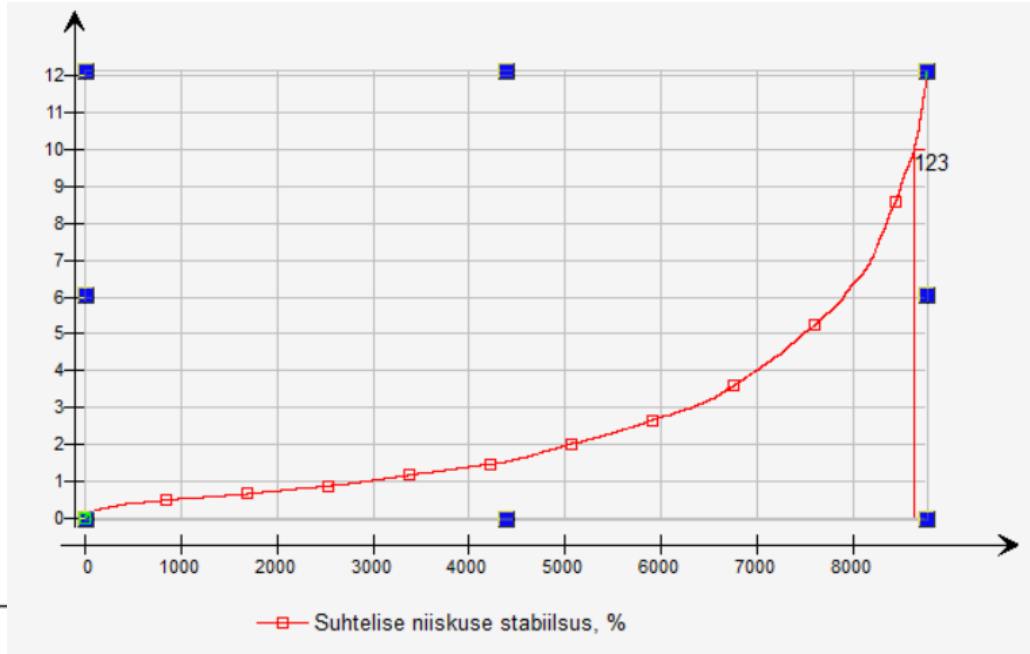




TULEMUSED: ÜLDHOIDLA SUHTELISE NIISKUSE TAGAMINE

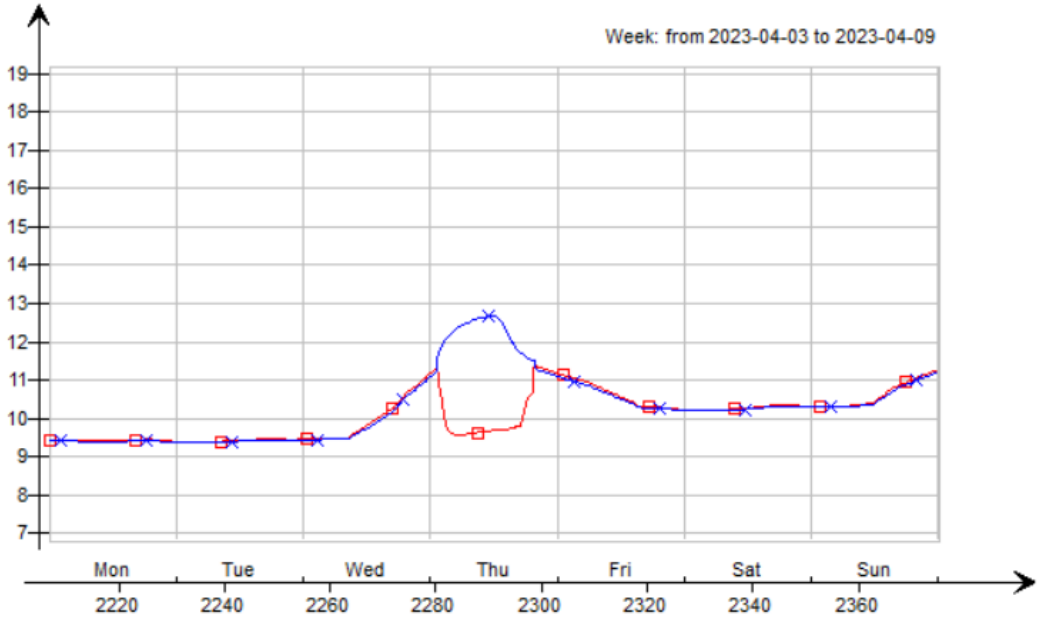
- Minimaalne talveperioodi RH tase on 41,5%.
- Maksimaalne suveperioodi suhteline niiskus 62%.
- RH tase ületab suvist lubatud taset (maks. lubatud tase 60%) 11,7 h aastas ehk 0,1% kogu ajast.
- Suhtelise niiskuse varieerumine on suurem kui lubatud 123 h aastas ehk 1,4% ajast.

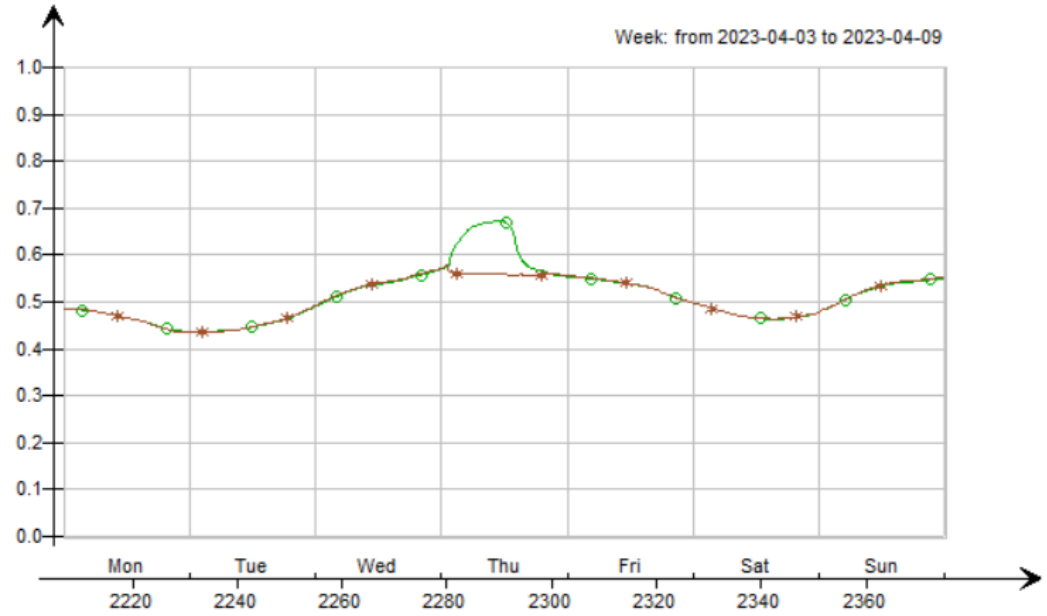




TULEMUSED: HOIDLA SISETEMPERATUURI JA RH KIHISTUMINE

- Kui õhujoa kiirus viibimistsooni piiril on 0,5 m/s, siis on maksimaalne hoidlaruumi vertikaalne temperatuurikihistumine ligikaudu 3,6 °C.
- Hoidlaruumi alumises tsoonis on suhtelise niiskuse tase 68% ja samal ajal ülemises tsoonis 55%.
- Kui õhujoa kiirus viibimistsooni piiril on alla 0,3 m/s, siis muutub ruumi ülemise ja alumise osa vaheline vertikaalne temperatuurikihistumine oluliselt suuremaks ja võib ulatuda kuni 6 °C-ni.
- Üldhoidlate õhujaotuse lahenduse projekteerimisele osutada kõrgendatud tähelepanu.
- Suure temperatuurikihistumise korral võiks üldhoidla minimaalse lubatud sisetemperatuuri väärtus olla vahemikus 3–5 °C. Nii on kindel, et temperatuurid jäävad kõigis ruumi punktides üle 0 °C.





JÄRELDUSED SISEKLIIMA TAGAMISE OSAS

- Sisetemperatuuri ja selle stabiilsuse tagamine probleeme ei valmista.
- RH maksimaalse taseme ja ööpäevase varieerumise nõude tagamine on keerukam.
- Hoidla ringlusõhu õhuvahetuse suurendamine aitab suhtelise niiskuse ööpäevast varieerumist stabiliseerida.
- Hoidlaruumi õhupidavus on äärmiselt oluline, kuna see aitab ööpäevast hoidla temperatuuri ja suhtelise niiskuse tasemete varieerumist stabiliseerida.
- Hoidla sise- ja välisseinte soojusläbivuse väärtus ei ole sisekliima parameetrite mõttes oluline.
- Välisõhu ventilatsiooniseadme puhul aitab kõrge niiskustagastusega hügroskoopne rootorsoojustagasti ööpäevast suhtelise niiskuse taseme varieerumist stabiliseerida.

TAL TECH

JÄRELDUSED HOIDLA ENERGIATÕHUSUSE OSAS

- Vastavalt baasmudeli simulatsioonitulemusele on hoidla soojusenergia erikulu 7,9 kWh/m^2, jahutusenergia erikulu 3,2 kWh/m^2 ja niisuti elektri erikulu 0,6 kWh/m^2.
- Hoidla kogu elektri erikulu on 7,8 kWh/m^2.
- Mida madalamad on nii välisõhu vooluhulk kui ka retsirkulatsiooni vooluhulk, seda energiatõhusama lahendusega tegu on.
- Hoone õhupidavusel on hoone üldisele energiatarbimisele selge mõju.
- Hoidla välisseinte soojusläbivuse väärtus võiks olla alla 0,2 W/(m^2*K).
- Hoidla ja hoone ülejäänud ruumide vaheliste siseseinte soojusläbivuse väärtus võiks olla alla 0,5 W/(m^2*K).
- Hoides hoidlas aastaringselt 20 °C oleks soojusenergia tarbimine ligi 9 korda suurem, jahutusenergia tarbimine 2,7 korda suurem ja aurniisuti elektritarve 13 korda kõrgem kui uuringus pakutud lahendusega.

TAL TECH

UURINGU TULEMUSED

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

EHITUSE JA ARHITEKTUURI INSTITUUT
LIGINULLENERGIAHOONETE UURIMISRÜHM

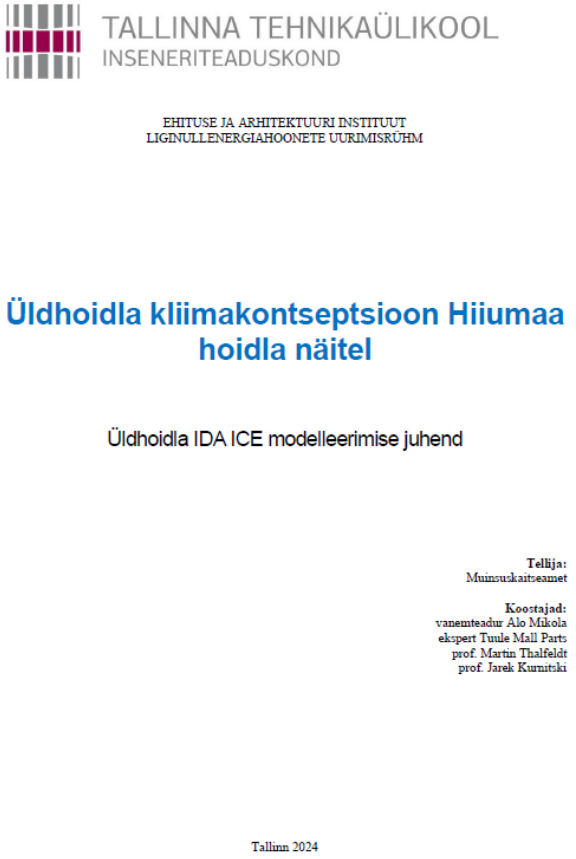
Üldhoidla kliimakontseptsioon Hiiumaa hoidla näitel

Uuringu aruanne

Tellija:
Muinsuskaitseamet

Koostajad:
vanemteadur Alo Mikola
ekspert Tuule Mall Parts
prof. Martin Thalfeldt
prof. Jarek Kurnitski

Tallinn 2024


TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

EHITUSE JA ARHITEKTUURI INSTITUUT
LIGINULLENERGIAHOONETE UURIMISRÜHM

Üldhoidla kliimakontseptsioon Hiiumaa hoidla näitel

Üldhoidla IDA ICE modelleerimise juhend

Tellija:
Muinsuskaitseamet

Koostajad:
vanemteadur Alo Mikola
ekspert Tuule Mall Parts
prof. Martin Thalfeldt
prof. Jarek Kurnitski

Tallinn 2024

Tabel 8. Üldhoidla ruumikaart.

Sisekliima klass	Pole määratud
Siseõhutemperatuuri lubatud vahemik	0–21 °C
Siseõhu suhtelise niiskuse lubatud vahemik	35 – 60%
Siseõhu temperatuuri muutumise kiirus	< 1°C/h
Siseõhu suhtelise niiskuse muutumise kiirus	< 10% ööpäevas
Sisekliima parameetrite püsimimine lubatud vahemikes	Vähemalt 95%-il jooksul ruumide kasutusajast
Sisekliima parameetrite nõuete tagamise kontroll	Esitada kõigi ruumikaardil olevate sisekliima parameetrite püsivuse osas lubatud vahemikes ja nende muutumise kiiruse kohta dünaamilise simulatsiooniprogrammiga teostatud arvutused.
Õhuvahetus väärtused	Värske õhu normväärtus: 0,021 h^{-1} (0,5 korda ööpäevas). Ringlusõhu minimaalne normväärtus: 0,5 l/(s*m^2).
Õhutöötlusseadmete põhimõtteline lahendus	Eraldi soojustagastiga värskeõhu seadmel ja ringlusseadmel (õhu jahutamine, soojendamine, kuivatamine) baseeruv lahendus, üldiselt konstantne ringlusõhu vooluhulk, värske õhu seadme soojustagasti vajadust võib hinnata kasutades selleks dünaamilisi simulatsioone.
Maksimaalne õhuliikumise kiirus hoidla töötsoonis	Pole määratud
Jahutus ja kuivatus	Tsentraalse õhutöötlusseadme baasil
Küte	Tsentraalse õhutöötlusseadme baasil
Välispiirete õhulekkearv	1 m^3/(h*m^2) 50 Pa rõhkude erinevusel
Ruumi temperatuuri ja suhtelise niiskuse reguleerimine	Hoidla alumises tsoonis paiknevate temperatuuri ja suhtelise niiskuse andurite alusel. Õhutöötlusseadme reguleeriine toimub läbi hooneautomaatika tsentraalselt. Hoidlaruumi erinevates punktides paiknevad sisetemperatuuri ja suhtelise niiskuse näitavad andurid peavad võimaldama vastavate parameetrite visuaalset kontrolli. Lisaks paikneb hoidlaruumis eraldi CO_2 andur ja tabloo, kust on võimalik CO_2 taset monitoorida.

9. jaanuaril valmis Tallinna Tehnikaülikooli ehituse ja arhitektuuri instituudi liginullenergiahoonete uurimisrühma teostatud uuringu aruanne „Üldhoidla IDA ICE modelleerimise juhend. Üldhoidla kliimakontseptsioon Hiiumaa hoidla näitel“.

Kui me ei paranda muuseumide hoiustamistingimusi ega loo kultuuripärandi konservaatoritele tänapäevast töökeskkonda, on Eesti jaoks hindamatute kultuuriväärtuste säilimine ohus.

https://www.muinsuskaitseamet.ee

TÄNAN TÄHELEPANU EEST!