



ÜLDHOIDLA KLIIMAKONTSEPTSIOON JA SELLE ÕHUTÖÖTLUSPROTSESSIDE MODELLEERIMINE IDA ICE TARKVARAS

TalTech vanemteadur Alo Mikola

28.01.2026

ÜLDHOIDLA KLIIMAKONTSEPTSIOONI UURING

- 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“.
- Uuringu tulemused:
 - sisend üldhoidla ja konserveerimise tööruumi ruumikaartidesse,
 - üldhoidla põhimõtteline agregaatide skeem, juhtimispõhimõtted ja õhujaotuse põhimõtted,
 - juhised arhitektile passiivsete meetmete rakendamiseks
 - Hiiumaa hoidla simulatsiooni tulemused (temperatuuri ja niiskuse püsivus, energiakulu, dimensioneerimise võimsused).

UURINGU TULEMUSED JA ARUANDED



Ehituse ja Arhitektuuri Instituut
Liginullenergiahoonete uurimisrühm

Üldhoidla kliimakontseptsioon Hiiumaa hoidla näitel

Uuringu aruanne

Tellijas:
Muinsuskaitseamet

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

Tallinn 2024



Ehituse ja Arhitektuuri Instituut
Liginullenergiahoonete uurimisrühm

Üldhoidla kliimakontseptsioon Hiiumaa hoidla näitel

Üldhoidla IDA ICE modelleerimise juhend

Tellijas:
Muinsuskaitseamet

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

Tallinn 2024



- Uuringu aruanded leiab Energiatõhususe Tippkeskuse (ENER) kodulehelt:
- <https://ener.ee/heitevabad-hooned/>

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 püsimine 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 dunaamilise simulatsiooniprogrammiga teostatud arvutused.
Õhuvahetus väärtused	Värske õhu normväärtus: 0,021 h ⁻¹ (0,5 korda ööpäevas). Ringlusõhu minimaalne normväärtus: 0,5 l/(s*m ³).
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 dunaamilisi 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 reguleerimine 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.

Üldhoidlate õhustus

Niiskuse tagamisega hoidlates võib täppiskonditsioneerimine suurendada energiakasutust kuni 10 korda võrreldes otstarbekohase õhutöötlusprotsessiga. Tutvu kliimakontseptsiooniga ja samm-sammulise simulatsiooni tegemise juhendiga, mille abil KVJ insener saab simulatsiooni tehtud -- reeglina kõik hoidlad on unikaalsed.

- [Üldhoidla-kliimakontseptsioon.pdf](#)
- [Üldhoidla-modelleerimise-juhend.pdf](#)

MUINSUSKAITSEAMETI PÄRANDIHOIDLA KONTSEPTSIOON

MIS ON PÄRANDIHOIDLA?

MIKS ON PÄRANDIHOIDLAT VAJA?

MISSUGUST PÄRANDIHOIDLAT ME VAJAME?

KES ON MEID INSPIREERINUD?

MILLAL PÄRANDIHOIDLA VALMIS SAAB?

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.

2018. aastal Kultuuriministeeriumi juhtimisel läbi viidud uuring näitas, et kultuuriväärtuste pikaajalise säilitamise nõuetele vastas Kultuuriministeeriumi haldusalas olevate riigimuuseumide ja sihtasutuste muuseumide hoidlapinnast 43%.

Projekti „Museaalide säilitamise teenuse analüüsi tellimine Rahandusministeeriumile“ aruanne.pdf |

4.01 MB | pdf

Viimastel kümnenditel on maailmas pööratud üha suuremat tähelepanu muuseumihoidlate energiatõhususele ja jätkusuutlikkusele, samas tagades kõik tingimused kultuuriväärtuste pikaajaliseks säilitamiseks. Üha sagedamini otsivad muuseumid lahendusi üheskoos, kuna sedasi on praktilisem ja ökonoomsem.

Hoidlaprobleemide lahendamisel on heaks eeskujuks Taani muuseumide tegevus. Vejles ja Ribes rajatud ühishoidlad koos konserveerimiskeskustega on eeskujulikud näited energiatõhusatest ja jätkusuutlikest hoidlatest.

Eeskujuks on ka Hollandi Rijksmuseum, kelle eestvedamisel valmis Hollandi Kollektsoonikeskus, kus hoiustatakse nelja institutsiooni – Paleis Het Loo, Hollandi Vabaõhumuuseumi (Nederlands Openluchtmuseum), Riikliku Kunsti- ja Ajaloomuuseumi (Rijksmuseum) ning Hollandi Kultuuripärandi Ameti (Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed) – kogusid. Sealgi hoiustatakse museaale materjalipõhiselt.

Tänapäevastele nõuetele vastavad spetsiaalselt hoidlateks ehitatud ruumid on ainult Eesti Rahva Muuseumi uues hoones (Raadil), Kumu Kunstimuuseumis ja Eesti Ajaloomuuseumi uues hoidlas (Maarjamäel). Enamik muuseumides hoitakse aga kogusid hoidlateks ümber kohandatud ruumides ja hoonetes, kus ei ole võimalik luua museaalide pikaajalist säilimist tagavaid tingimusi. Üsna sageli ei ladustata museaale isegi mitte hoidlates, vaid selleks hädapärast kohandatud ruumides või hoonetes, kus ei ole tagatud tuleohutus ega esemete füüsiline turvalisus, rääkimata sobilikust keskkonnast.

Suur probleem on ka ruumipuudus. Hoidlaruumid on üle koormatud, museaalid on paigutatud liiga tihedasti, sageli üksteise peale. Neid on keeruline hoidlast välja tuua. Seetõttu on oluliselt piiratud huviliste juurdepääs kogudes olevatele kultuuriloolistele esemetele, samuti on takistatud pärandi kasutamine ja tutvustamine.

Perioodiliselt läbiviidav olukorra kaardistus on näidanud, et need olud ei ole aja jooksul märkimisväärselt paranenud.

ÜLDHOIDLA DEFINITSIOON JA PEAMISED NÕUDED

- Üldhoidlad on tavaliselt **pideva inimkasutusega ruumid**, kus sisekliimanõueteks on suhtelise niiskuse tagamine ja minimaalne ventilatsioon
- Üldhoidlate puhul on üldjuhul tegemist **kütmata ruumidega**, kuna nii on võimalik olulisel määral energiat kokku hoida.
- Üldhoidlate puhul on nõutav minimaalne välisõhuvahetus ehk õhuvahetus peaks olema vähemalt 1 kord 2 ööpäeva jooksul
- Lisaks tuleks madala õhuvahetuse puhul hinnata ka võimalikku VOC-de eraldumist säilikutest ja vajaduse korral kasutada aktiivsöefiltreid.
- Reeglina on vanade esemete keemilised emissioonid madalad ja nimetatud probleemi pole teaduskirjanduse baasil täheldatud.
- Üldhoidlate **suhteline niiskuse** kõikumine ei või ületada **10%-i ööpäevas** ja **temperatuuri muutumise kiirus 1°C-i tunnis**. Taotluslike sisekliimanõuete saavutamiseks tuleb kasutada lahendusi, mis tagavad sisekliimaparameetrite püsimise toodud vahemikes **vähemalt 95%-il jooksul ruumide kasutusajast**. Hetkelised ja väikesed kõrvalekalded on aksepteeritavad.

ENAMLEVINUD HOIDLATE TÜÜBID

- Enamlevinud hoidlate tüübid võib jagada järgmistesse enamlevinud alamkategoriasse:
 - **Toatemperatuuri lähedased** hoidlad, kus temperatuur hoitakse vahemikus **+15...21 °C** ja suhteline niiskus **50%** ümbruses
 - **Jahehoidlates** hoitakse temperatuuri vahemikus **+8...12 °C** ning suhteline niiskus jääb **30...50%** juurde
 - Kolmanda hoidla tüübina on võimalik eristada **külmhoidlad**. Nendes hoidlates tagatakse temperatuuri vahemikus **-5...-20 °C** ja suhteline niiskus peaks jääma **40%** lähedusse.
 - **Üldhoidlad**, kus puudub pidev inimeste kohalolu ja lubatakse suurt sisetemperatuuri varieerumist 0 (+10)...21 °C ja ka suhtelise niiskuse varieerumist vahemikus **35...60%**
- Täpsed hoiustamise sisekeskkonna tingimused tuleb paika panna arvestades iga hoidla spetsiifikat eraldi.

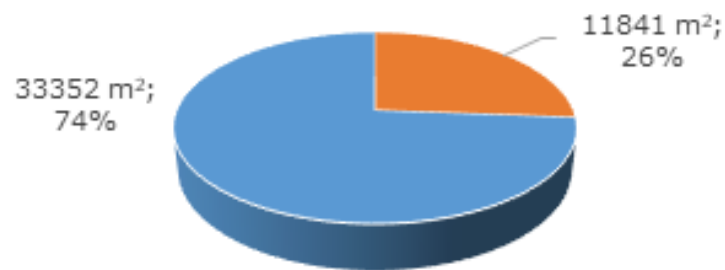
NÄITEKS PABERMATERJALIDE HOIDLATE SISEKLIIMA PARAMEETRID ERINEVATE NÕUETE ALUSEL

- Ülemine temperatuuri piirväärtus on üldiselt fikseeritud +21 °C ja alumine piirväärtus ca **13...14 °C**
- Erinevates nõuetes on lubatud üsna lai suhtelise niiskuse varieerumine **30...55%**

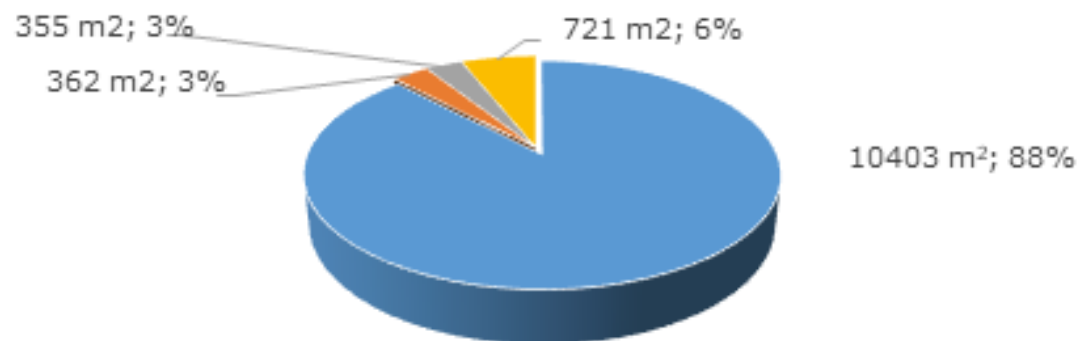
Kirjandusviide	Temperatuur [°C]	Suhteline niiskus [%]
Arhiivieeskiri 1998[19]	+15...20	30...50
Soome arhiivieeskiri (Valtionarktison 1984)[20]	+18...22	45...55
ANSI/NISO standard Z79199x (Wilson 1995)[21]	mitte üle +21	35...50
Inglismaa standard (British Standard 1989)[22]	+13...19	55...65
Rootsi arhiivieeskiri (Riksarkivets 1994)[23]	+16...20	30...50
ISO standard 1995 (Informatsioon 2005)[24]	+14...20	45...55
Thomson 1978[25]	Madal	45...65
Baynes-Cope 1981[26]	+13...18	55...65
Wilson, Wessel 1984[27]	+20...21	25...30

RAHVUSRAAMATUKOGU HOIDLATE GRUPEERIMISE NÄIDE

- Eesti Rahvusraamatukogu hoones paiknevad hoidlad jagunevad tüübiti järgmiselt:
 - Paberihoiud, filmiarhiivid: temperatuur 15...21°C; RH 40...55%
 - Helihoiud: temperatuur 10...14°C; RH 30...45%
 - Filmi ja fotohoiud: temperatuur 6...10°C; RH 30...45%
 - Külmoiud: temperatuur -5...-7°C; RH 30...45%.



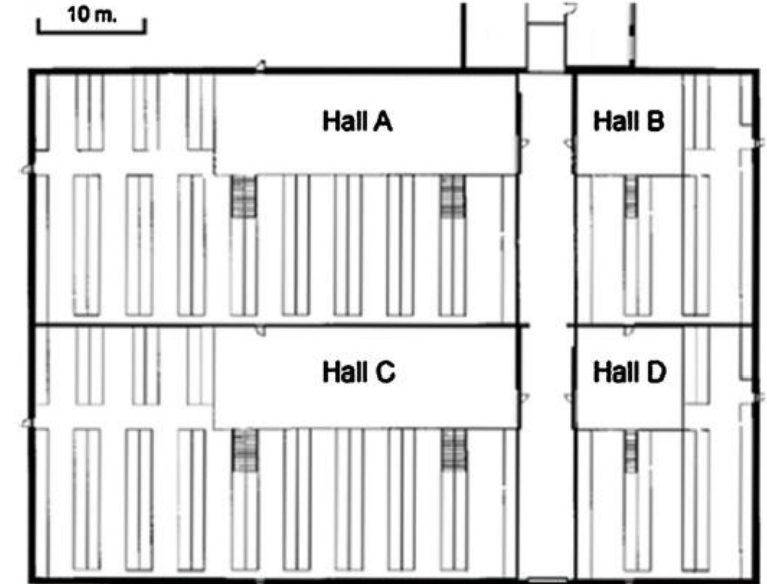
- Hoidlate summaarne suletud netopindala
- Eesti Rahvusraamatukogu mittehoiula alade summaarne netopindala



- Paberihoiula, filmiarhiiv (15...21°C); RH 40...55%
- Helihoiula (10...14°C); RH 30...45%
- Filmid ja fotod (6...10°C); RH 30...45%
- Külmoiula (-5...-7°C); RH 30...45%

VEJLE (TAANI) MUUSEUMIHOIDLA KOGEMUS

- Taanis Vejles asuvate Kultuuripärandi Keskuse hoidlate kogemus (valminud 2003 ja laiendus 2013) (Christensen et al, 2016)
- „Taani madala energiakuluga muuseumihoidla” kontseptsioon põhineb:
 - hoidla väga heal õhupidavusel ja hästi soojustatud hoone välisseinad
 - soojustamata põrandal
 - lühiajaline kontsentreeritud õhukuivatus (tavaliselt öösel)
 - minimaalsel tehnosüsteemide kasutamisel
- Tulemused kinnitavad, et suhtelist õhuniiskust saab hoida stabiilsena ilma pideva õhu töötlemiseta
- Samas näitavad tulemused ka seda, et päris ilma õhutöötlusteta hakkama ei saa



VEJLE (TAANI) MUUSEUMIHOIDLA UURINGUTE KOKKUVÕTE

- Energiatarve on kuni 98% väiksem võrreldes tavapäraste hoidla õhutöötamise lahendustega (u 0,6 kWh/m³ aastas).
- Hoidlate säilivuskvaliteet (Time Weighted Preservation Index) on parem kui paljudes traditsioonilistes hoidlates
- Hoone on tänu öisele õhukuivatusele ja taastuenergia kasutamisele peaaegu CO₂-neutraalne
- Ehitus- ja kasutuskulud on madalad, muutes lahenduse realistlikuks ka väiksematele muuseumidele
- Passiivsetele põhimõtetele ja õhutihedusele tuginev muuseumihoidla suudab pakkuda nii paremat kogude kaitset kui ka oluliselt väiksemaid kulusid ja keskkonnamõju
- Tulemuste põhjal soovivad viidatava uuringu autorid loobuda jäikadest temperatuuristandarditest (nt BS 5454) ja lubada aastast temperatuuri tsüklit vahemikus 10–25 °C, mis vähendab energiakulu, pikendab materjalide keemilist eluiga ning on kooskõlas kaasaegse madala energiatarbega hoidlate projekteerimisega.

(Christensen et al, 2011, 2015, 2016)

VEJLE (TAANI) MUUSEUMIHOIDLA UURINGUTE KOKKUVÕTE

- Vejle muuseumihoidlas prooviti ka passiivset ilma kütte ja kuivatusega lahendust
 - Selgus, et täielikult passiivne lahendus ei taga enamikes väliskliima kliimatingimustes hoidlas vajalikke sisekliima parameetreid
 - Probleem oli ennekõike aasta keskmisena liiga kõrge suhteline õhuniiskuse tasemega ($\approx 70\%$), mis soodustab bioloogilist ja mehaanilist kahjustumist
 - Seetõttu on õhu kuivatamine vältimatu
- Uuringute ja simulatsioonide tulemused näitavad, et:
 - Välispiirete soojusläbivuse parendamisel (seinad, katus, põrand) on kuivatusvajadusele vaid väike mõju (5–10%)
 - hoone õhupidavus on kriitilise tähtsusega – õhulekked on peamine niiskuse allikas

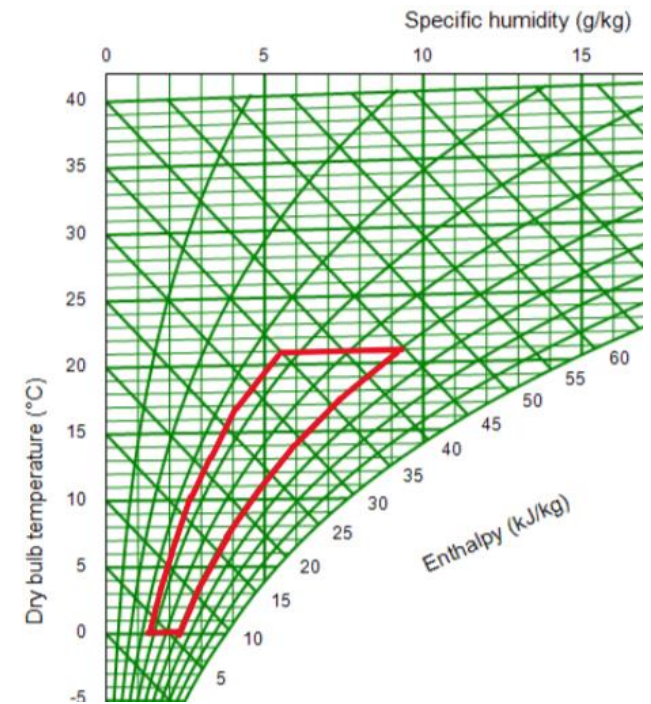
(Christensen et al, 2011, 2015, 2016)

VIITED PASSIIVSE PASSIIVSETE ÜLDHOIDLA TEADUSUURINGUTELE

- Christensen, J. E., Knudsen, L. R., & Kollias, C. G. (2016). New concept for museum storage buildings – Evaluation of building performance model for simulation of storage. 2016 International Conference on Architecture and Civil Engineering.
- Christensen, J. E., & Kollias, C. G. (2015). Hygrothermal evaluation of a museum storage building based on actual measurements and simulations. Energy Procedia, 78, 651–656.
- Janssen, H., & Christensen, J. E. (2013). Hygrothermal optimisation of museum storage spaces. Energy and Buildings, 56, 169–178.
- Ryhl-Svendsen, M., Jensen, L. A., Larsen, P. K., & Padfield, T. (2010). Does a standard temperature need to be constant? Meddelelser om Konservering, 1, 13–19.
- Christensen, J. E., & Janssen, H. (2011). Passive hygrothermal control of a museum storage building. Proceedings of Building Simulation 2011.

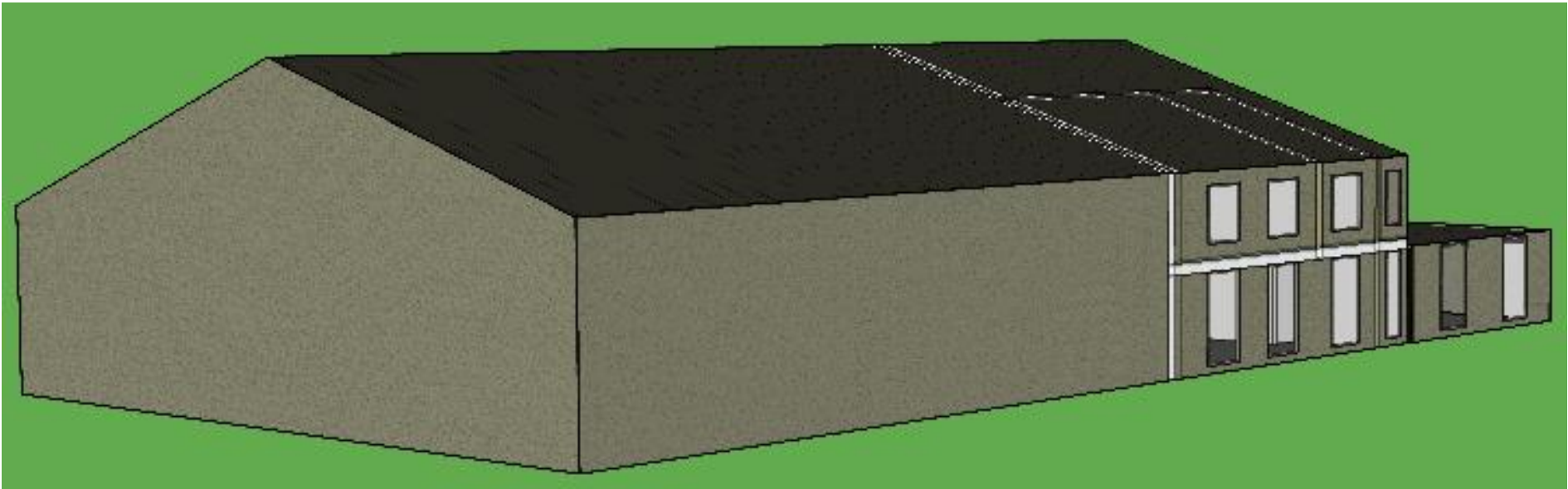
ÜLDHOIDLA SISEKLIIMA LÄHTEPARAMETRID

- 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 LÄHTEPARAMETRID

- Hiiumaa Muuseumihoidla hoidlahoone baseerub DAGOpen OÜ poolt teostatud Hiiumaa Muuseumihoidla hoidlahoone põhiprojektil
- Üldhoidla suletud netopind on 386,4 m² ja ülejäänud kontoriruumide netopind on 370 m²
- Üldhoidla on 4-8 m kõrge ruum, mis on osaliselt vahekorrustega liigendatud.
- Vahekorruse pindala on vahemikus 100-150 m² ja vahekorrus ei ole seinaga eraldatud ja moodustab üldhoidla õhuruumiga ühise mahu
- Ladustamine hakkab toimuma kõrgetel kompaktriulitel, mis tähendab, et ettenähtud sisekliima parameetrid tuleb tagada sisuliselt kogu ruumi kõrguses



HIIUMAA ÜLDHOIDLA MUDELI LÄHTEPARAMEETRID

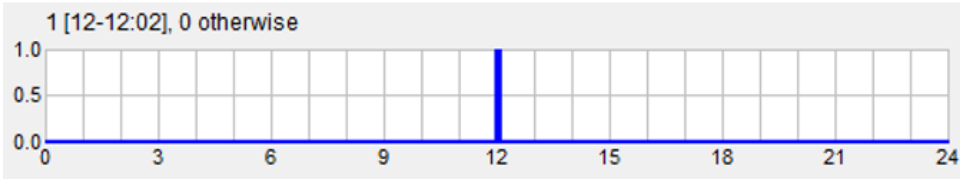
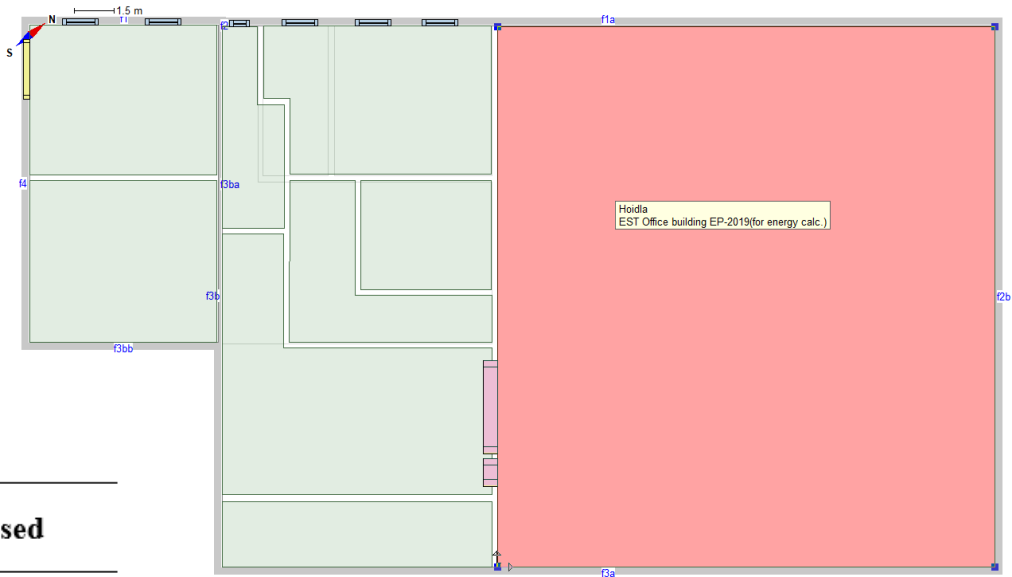
- Baasmudelis kasutati õhulekkearvu väärtust $q_{50}=1,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja infiltratsiooni õhuvooluhulk arvutati vastavalt "Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika" meetodile
- Hoidlaruumi vabasoojuste ja kasutusprofiilide loomisel lähtuti sellest, et inimesi ruumis üldiselt ei viibi ja vabasoojusted nii valgustusest ja seadmetest on marginaalsed
- Simulatsioonide teostamisel arvestatakse ka üldhoidla- ja tulmeruumi vahelise väikese siseukse avamise mõjuga (baasjuhul siseuks avatud tööpäevadel kell 12:00 – 12:02)

Tabel 1. Geomeetria mudelis kasutatud piirdetarindite omadused.

Piirdetarindi tüüp	Soojusläbivus (U-arv), W/(m²*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 vabasoojusted.

Hoone kasutusotstarve	Kasutusaste	Valgustus	Seadmed	Inimesed	
	[-]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[m²/W]
Kontorihoon e	0,55	10	12	5	17
Üldhoidla	0	0	0	0	0
Muud hoidlad kontori plokis	0,2	10	0	0	0



ÜLDHOIDLA BAASMUDELI LÄHTEPARAMETRID

- Läbiviidud aastaste energiasimulatsioonide aluseks on Eesti kliima andmetega referentsaasta Estonian TRY 1990-2020 (koostatud 2023. aastal)
- Baasmudelis on üldhoidla õhuvahetuseks ringlusõhuga võetud $0,5 \text{ l/(s*m}^2\text{)}$ ehk kokku 193 l/s
- Välisõhu vooluhulk on leitud arvestusega, et üldhoidla õhuvahetus peaks olema vähemalt 1 kord 2 ööpäeva jooksul ($0,035 \text{ l/(s*m}^2\text{)}$) ehk hoidla osa välisõhu õhuvooluhulk 15 l/s
- Baasmudelis on agregaadi välisõhu osal kasutuses hügrokoopne 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 on PP-ga ette nähtud avatud vertikaalsete puuraukudega maasoojuspump
- Elektrienergia tarbimise hindamisel kasutatud soojuspumba aasta keskmist soojustegurit (SCOP) 4 ja külmamasina jahutustegurit (SEER) $3,5$

ÜLDHOIDLA BAASMUDELI LÄHTEPARAMETRID

- Mudeldamisel on kasutatud ainult ringlusõhu baasil õhutöötlusprotsesse, kus õhu kuivatamine toimub külmal perioodil sisetemperatuuri tõstmisega küttekalorifeeris
- Baasmudelis moodustavad soojuskadod läbi külmasildade 11% välispiirete summaarsetest kogusoojuskadudest
- Töös ei ole simuleeritud hoone sooja tarbevee tarbimist, kuna see ei mõjuta otseselt hoidlaruumide energiatarvet
- IDA ICE seguneva tsoonimudeli kasutamisel on modelleeritud tsooni kõigis ruumipunktides samad temperatuuri ja suhtelise niiskuse parameetrid
- Kuna antud mudeli puhul tsoonis kihistumist ei toimu, siis saame seguneva mudeli korral juhtimisalgoritmis kasutada väljatõmbeõhu temperatuuri ja suhtelist niiskust
- Kihistuva tsoonimudeliga teostatud mudeldamine näitab, et praktikas ei või õhutöötlemisseadmete juhtimist väljatõmbeõhus paiknevate andurite alusel korraldada, kuna kõrge sissepuhketemperatuuri korral on hoidlaruumi ülemine osa oluliselt kõrgema temperatuuriga kui alumine osa
- Töö raames ei ole teisi võimalikke õhutöötlemise lahendusi vaadeldud (eelkõige rootorkuivatiga suvine õhu kuivatamine, mis on vajalik madalama temperatuuriga hoidlates)

SÜSTEEMI TOIMIMISE LÜHIKIRJELDUS

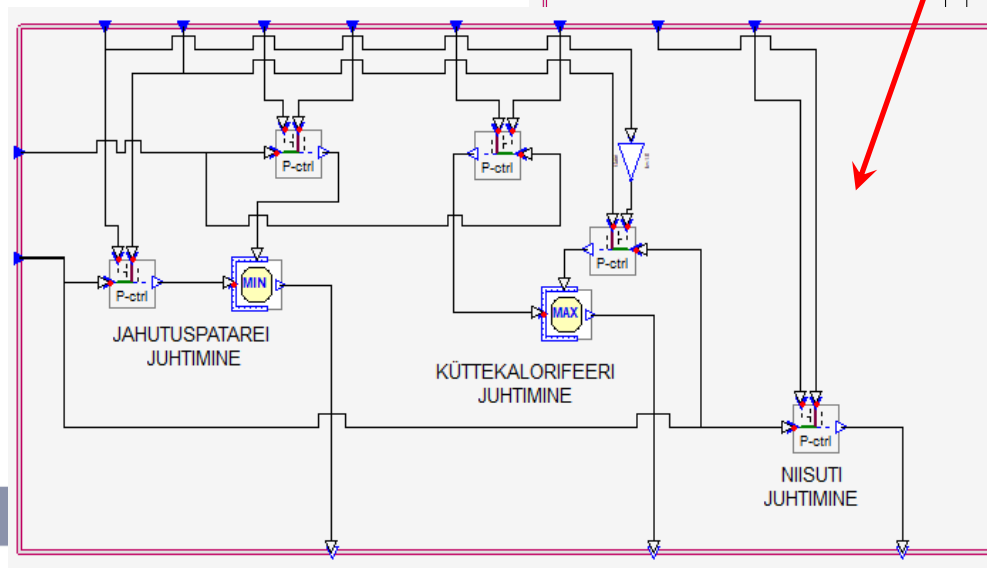
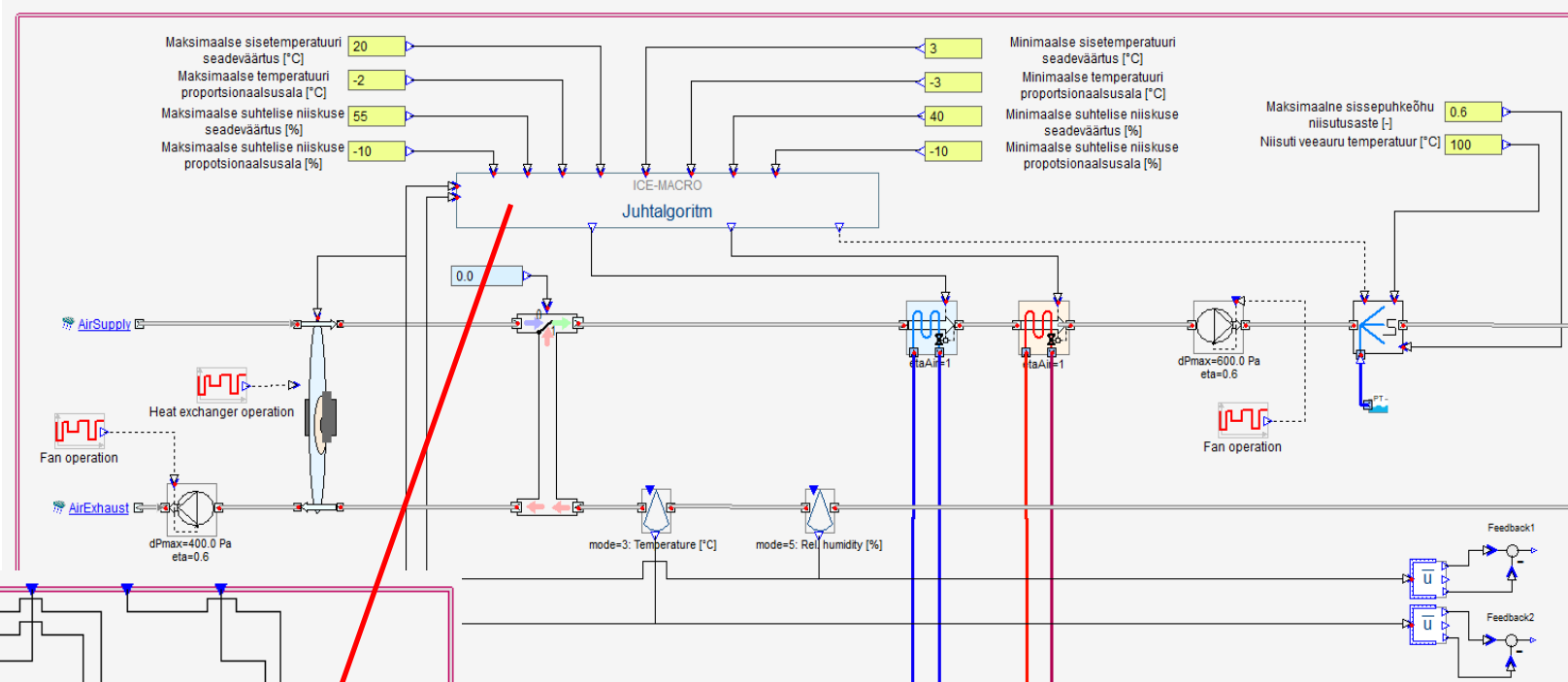
- Külmal perioodil niisutatakse ringlusõhku **aurniisutiga**. Aurniisuti puhul on arvestatud veeauru temperatuuriks 100 °C ja sissepuhkeõhu suhteline niiskus pärast niisutit on maksimaalselt 60%
- Õhu kuivatamine toimub külmal perioodil **sisetemperatuuri tõstmisega** küttekalorifeeris. Küttekalorifeeri puhul on arvestatud maksimaalseks sissepuhkeõhu temperatuuriks hoidlasse 30 °C
- Soojal perioodil jahutatakse ringlusõhku **esmalst jahutuspatareis**, mistõttu kondenseerub õhust niiskust välja, ja seejärel **järeلسoojendatakse** jahutatud õhku vajadusel **küttekalorifeeris**
- Küttekalorifeeri järgset sissepuhketemperatuuri 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

HOIDLA ÕHUTÖÖTLUSLAHENDUSE IDA ICE MUDEL

- Soojustagastiga mehaaniline SP/VT seade koosneb:

- välisõhu klappidest,
- filtritest,
- soojustagastist,
- ventilaatoritest.

KÜLMHOIDLAAHU



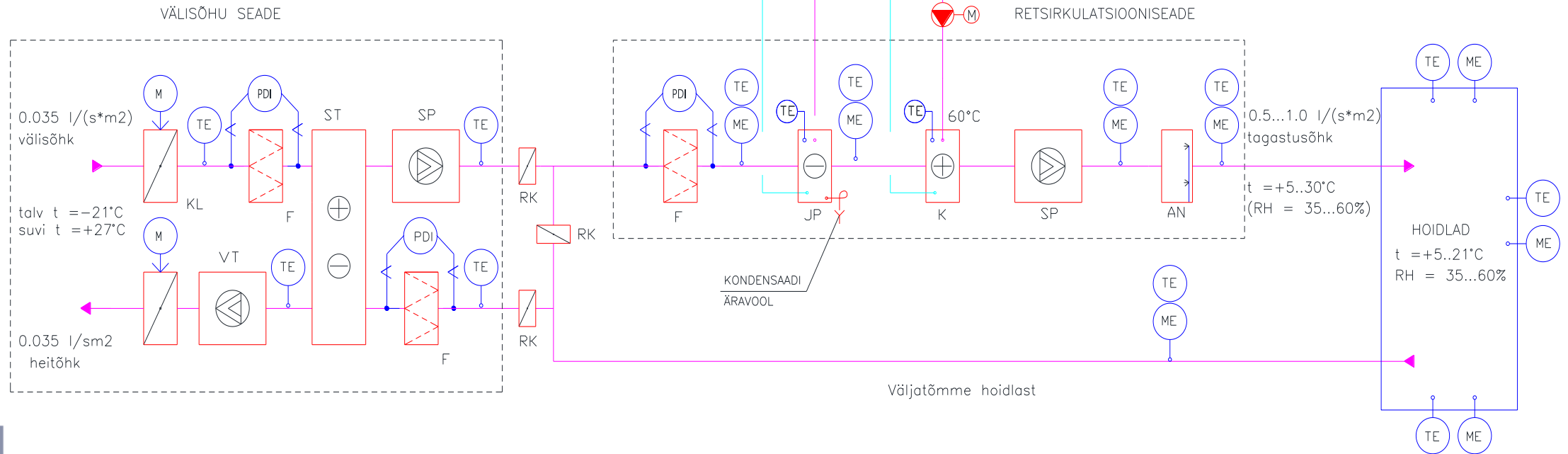
- Retsirkulatsiooniseade koosneb:

- filtrisektsioonist,
- jahutuspatareist,
- küttekalorifeerist,
- ventilaatorist,
- aurniisuti sektsioonist.

HOIDLAD ÕHUTÖÖTLUSLAHENDUSE PÕHIMÖTTELINE SKHEEM

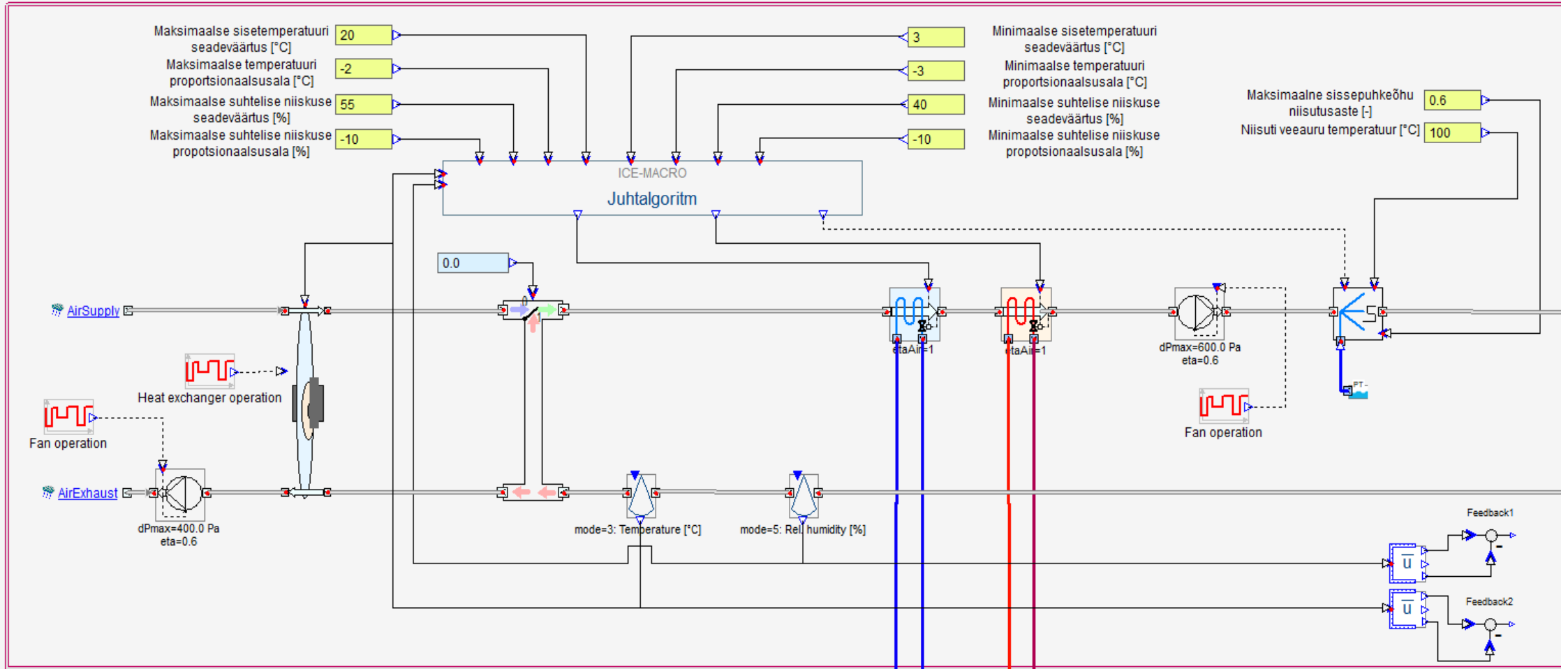
HOIDLAD $t = +5..21^{\circ}\text{C}$ / $\text{RH} = 35\%..60\%$

AN – AURINIISUTI	ST – SOOJUSTAGASTI
JP – JAHUTUSPATAREI	M – MOOTORAJAM
K – KALORIFEER	P – TSIRKULATSIOONIPUMP
F – FILTER	RK – REGULEERKLAPP
SP – SISSEPUHE VENTILAATOR	RV – REGULEERVENTIIL
VT – VÄLJATÖMME VENTILAATOR	TE – TEMPERATUURIANDUR
KL – SULGKLAPP	ME – SUHTELISE NIISKUSE ANDUR

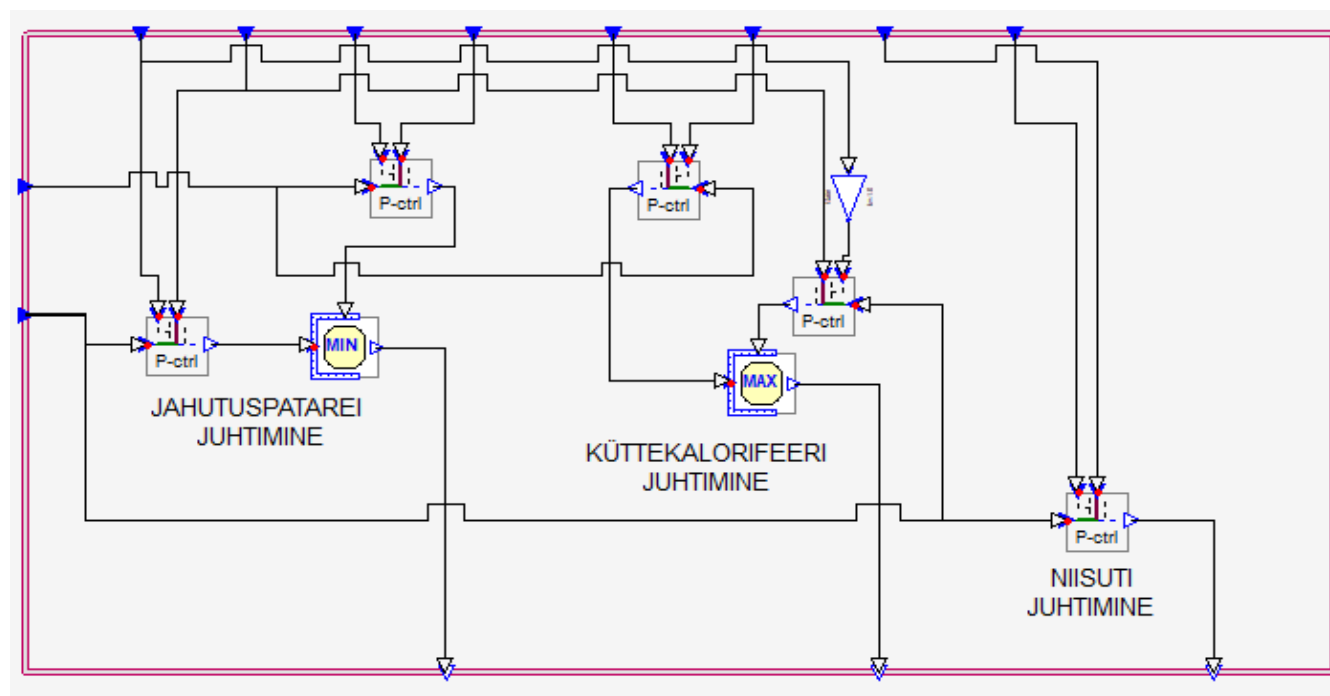
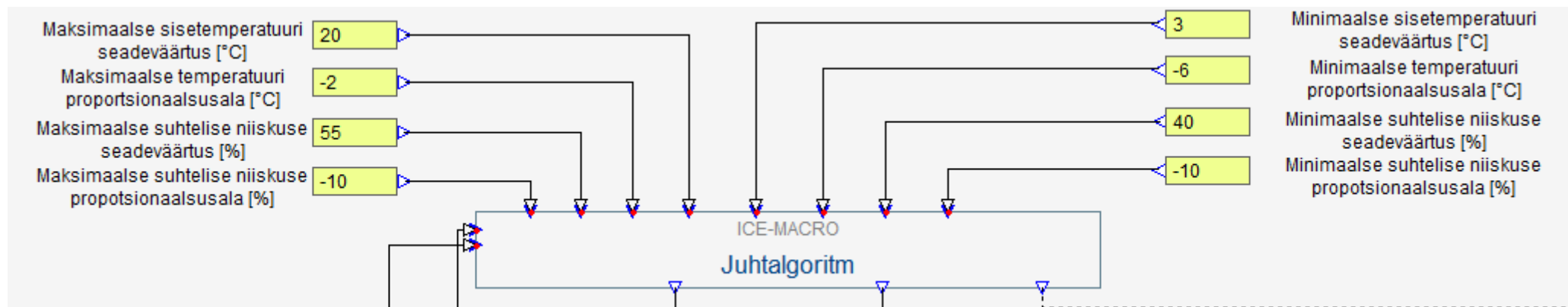


HOIDLA ÕHUTÖÖTLUSLAHENDUSE SKEEM IDA-S

KÜLMHOIDLAHU



SÜSTEEMI TOIMIMISE LÜHIKIRJELDUS IDA MUDELIS



SÜSTEEMI TOIMIMISE LÜHIKIRJELDUS IDA MUDELIS

- Modelleeritava seadme juhtimisloogika on koostatud lähtuvalt hoidla tüübile seatud suhtelise niiskuse ja temperatuuri piirväärtustest
- **Soojustagasti juhtimine** on skeemi puhul korraldatud lähtuvalt hoidla väljatõmbeõhutemperatuurist nii, et soojustagasti järgi ei tõuseks temperatuur üle hoidla väljatõmbeõhu temperatuuri. Antud juhtimisalgoritm võimaldab soojustagasti töötamist vajaduspõhiselt.
- Simulatsioonimudel on kasutatud **välisõhu segamiseks** ruumi väljatõmbesüsteemi retsirkulatsioonisektsiooni
- Praktikas ei pruugi olla retsirkulatsioonisektsiooni sektsiooni kasutamine antud süsteemis mõistlik ja välisõhu tarvis on võimalik kasutada eraldi soojustagastiga ventilatsiooniseadet. Sellisel juhul tuleb viidatud seadme sissepuhke/väljatõmbe torustik ühendada õhukanaliga pärast retsirkulatsiooniseadet.
- Retsirkulatsioonisektsioonis on võimalik värske õhu vooluhulk määratleda parameetri "MFRESHMIN" väärtuse muutmise abil

SÜSTEEMI TOIMIMISE LÜHIKIRJELDUS IDA MUDELIS

- **Jahutuspatarei juhtimine** toimib väljatõmbeõhu suhtelise niiskuse väärtuse alusel
- Väljatõmbeõhu suhtelise niiskuse mõõdetud väärtus saadetakse jahutuse juhtimistüübiga proportsionaalsesse regulaatorisse, kus võrreldakse mõõdetud suurust seadesuurusega
- Baasmudeli maksimaalse suhtelise niiskuse seadeväärtuseks on valitud 55% ja proportsionaalsusala on võetud 10%
- Selleks, et suveperioodil ei ületakse hoidla temperatuur kindlasti 21 °C, on jahutuspatarei juhtimiseks süsteemi lisatud ka **teine propotsionaalne regulaator**, mis suurendab jahutuspatarei jahutusvõimsust juhul kui kuivatusvajadus puudub või kui kuivatusvajadus on minimaalne
- Viidatud juhtimislahenduse puhul mõõdetakse ruumi väljatõmbeõhu temperatuuri, mida võrreldakse regulaatoris seadesuuruseks oleva väärtusega (baasmudelil 20 °C ja propotsionaalsusala 1 °C) ja vastavalt sellele annab regulaator väljundsignaalina vajaliku jahutuspatarei järgse temperatuuri

SÜSTEEMI TOIMIMISE LÜHIKIRJELDUS IDA MUDELIS

- Nii maksimaalse suhtelise niiskuse kui ka temperatuuri regulaatorite puhul on proportsionaalse kontrolleri väljundsignaalide puhul määratletud temperatuuri ülemiseks väärtuseks **21 °C** ja alumiseks väärtuseks **13 °C**
- Jahutuspatarei järgse temperatuuri **13 °C** puhul kondenseerub väljatõmbeõhust välja piisavalt niiskust, et 21 °C väljatõmbeõhu suhteline niiskus jääks alla 60%
- Juhtalgoritmi järgmisel tasemel võrreldakse omavahel maksimaalse suhtelise niiskuse ja temperatuuri regulaatorite väljundväärtuseid ja jahutuspatarei juhtimiseks kasutatakse nendest väärtustest **väiksemat suurust (temperatuuri)**
- **Küttekalorifeeri juhtalgoritmi** puhul mõõdetakse esimeses etapis ruumi väljatõmbeõhu suhtelist niiskust ja võrreldakse seda proportsionaalses kontrollerris minimaalse suhtelise niiskuse seadeväärtusega
- Juhul, kui mõõdetud suhtelise niiskuse tase hoidlas on liiga kõrge, siis tõstetakse viidatud regulaatori abil hoidla sisetemperatuuri, mis omakorda toob kaasa suhtelise niiskuse taseme languse

SÜSTEEMI TOIMIMISE LÜHIKIRJELDUS IDA MUDELIS

- Baasmudeli minimaalse suhtelise niiskuse seadeväärtuseks on valitud **40%** ja proportsionaalsusala on valitud **10%**
- Selleks, et talveperioodil ei langeks hoidla temperatuur näiteks alla 3 °C, on küttekalorifeeri juhtimiseks süsteemi lisatud ka **teine propotsionaalne regulaator**, mis suurendab küttekalorifeeri küttevõimsust juhul, kui suhtelise niiskuse mõõdetud taseme alusel pole sissepuhkeõhku vajalik kütta
- Selle regulaatori seadeväärtus on baasmudelil **3 °C** ja propotsionaalsusala **6 °C**
- Nii minimaalse suhtelise niiskuse kui ka temperatuuri regulaatorite puhul on proportsionaalse kontrolleri väljundsignaalide puhul määratletud temperatuuri **ülemiseks väärtuseks 30 °C ja alumiseks väärtuseks 5 °C**
- Juhtalgoritmi järgmisel tasemel võrreldakse omavahel minimaalse suhtelise niiskuse ja temperatuuri regulaatorite väljundsuuruseid ja küttekalorifeeri juhtimiseks kasutatakse nendest väärtustest **suurimat väljundit**

SÜSTEEMI TOIMIMISE LÜHIKIRJELDUS

- **Auruniisuti juhtimisalgoritmi** puhul mõõdetakse väljatõmbeõhu suhtelist niiskust ja võrreldakse seda propotsionaalses regulaatoris minimaalse suhtelise niiskuse seadeväärtusega
- Baasmudelil on minimaalseks suhtelise niiskuse seadeväärtuseks **40%** ja vastavaks propotsionaalsusalaaks **10%**
- Kui mõõdetud suhteline niiskus on madalam kui seadesuurus, siis tekitab regulaator vastavalt seadesuuruse ja mõõdetud suuruse erinevusest aurniisutile väljundsignaali auru genereerimiseks
- Regulaatori väljundsignaali väärtus on vahemikus 0-1 ja selle suurus sõltub seadesuuruse ja mõõdetud suuruse erinevusest ja regulaatori määratud proportsionaalusala laiusest
- Kõigi kirjeldatud proportsionaalsete regulaatorite puhul on **täpselt seadeväärtuse** saavutamisel **väljundsignaali võimuse 50%**
- 100% väljundsignaal antakse juhul, kui mõõdetud suurus on saavutanud propotsionaalsusala ülemise piirväärtuse ja 0% on regulaatori väljund juhul, kui mõõdetud suurus on ületanud proportsionaalsusala alumise piirväärtuse

HOIDLA VERTIKAALSE TEMPERATUURIKIHISTUMISE ANALÜÜS

- Hoidla vertikaalset temperatuurikihistumist analüüsiti IDA ICE "climate model with stratification"
- Arvutuskihi kõrgus oli 0,5 m ja kokku kasutati seega 16 erinevat õhukihti
- Suurema sissepuhke õhujaotaja joakiirusega lahendus (õhu liikumise kiirus 0,3 m kõrgusel põrandaspinnast ligikaudu 0,5 m/s)
- Suurema sissepuhke õhujaotaja joakiirusega lahendus (õhu liikumise kiirus 0,3 m kõrgusel põrandapinnast ligikaudu 0,3 m/s)
- Õhutöötlussüsteemi juhtimine toimub hoidla õhuruumis 1,5 meetri kõrgusel paiknevate temperatuuri ja suhtelise niiskuse andurite järgi
- Ruumi lakke paigaldatud 3 vertikaalset juga andvat sissepuhke õhujaotajat
- Väljatõmbeõhu kanalis paiknevate temperatuuri ja suhtelise niiskuse andurite alusel õhutöötlussüsteemi juhtimise lahendust ei vaadelda, sest külmal perioodil tekib hoidlas märkimisväärne vertikaalne temperatuurikihistumine, mis muudab väljatõmbeõhu parameetrite alusel juhtimise küsitavaks

TULEMUSED: ÜLDHOIDLA ARVUTUSLIKUD KÜTTE-, JAHUTUS- JA NIISUTUSVÕIMSUSED

- Tagamaks hoidla temperatuuri ja suhtelise niiskuse lubatud tasemeid on dünaamilise simulatsiooni abil teostatud üldhoidla ruumi õhutöötlusprotsesside ja seadmete vajalikud arvutuslikud dimensioneerimisvõimsused
- Minimaalne sissepuhkeõhu temperatuur, mille juures suhtelise niiskuse varieerumise tase ületab lubatud määra (10% ööpäevas) alla 1,5% ajast, on **30 °C**
- Lisaks tuleb kalorifeeri võimsuse leidmisel arvesse võtta ka vajadust soojendada soojustagastit läbivat välisõhku. Arvutustes on soojustagasti jäätumise vältimise olukorra (heitõhu piirang -5 °C) kasutegurina kasutatud soojustagasti jäätumise vältimisega arvestavat temperatuuri suhtarvu väärtust 0,38. Arvutuslikus välisõhu temperatuuriks on antud arvutuse puhul võetud -21 °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 ARVUTUSLIKUD KÜTTE-, JAHUTUS- JA NIISUTUSVÕIMSUSED

- **Jahutuspatarei** puhul tuleneb arvutusliku võimsuse dimensioneerimisolukord suvisest kuivatus- ja sisetemperatuuri tagamise vajadusest
- Arvutustes on välisõhu temperatuuriks võetud 27 °C, välisõhu suhteliseks niiskuseks 60%, siseõhu arvutuslikuks temperatuuriks 21 °C ja siseõhu suhteliseks niiskuseks 60%
- Jahutuspatareid läbinud õhu temperatuuriks on võetud 13 °C ja suhteliseks niiskuseks arvestati 90%
- Jahutuspatarei dimensioneerimisel ei arvestata antud juhul välisõhu seadme külmatagastuse funktsiooniga

TULEMUSED: ÜLDHOIDLA ARVUTUSLIKUD KÜTTE-, JAHUTUS- JA NIISUTUSVÕIMSUSED

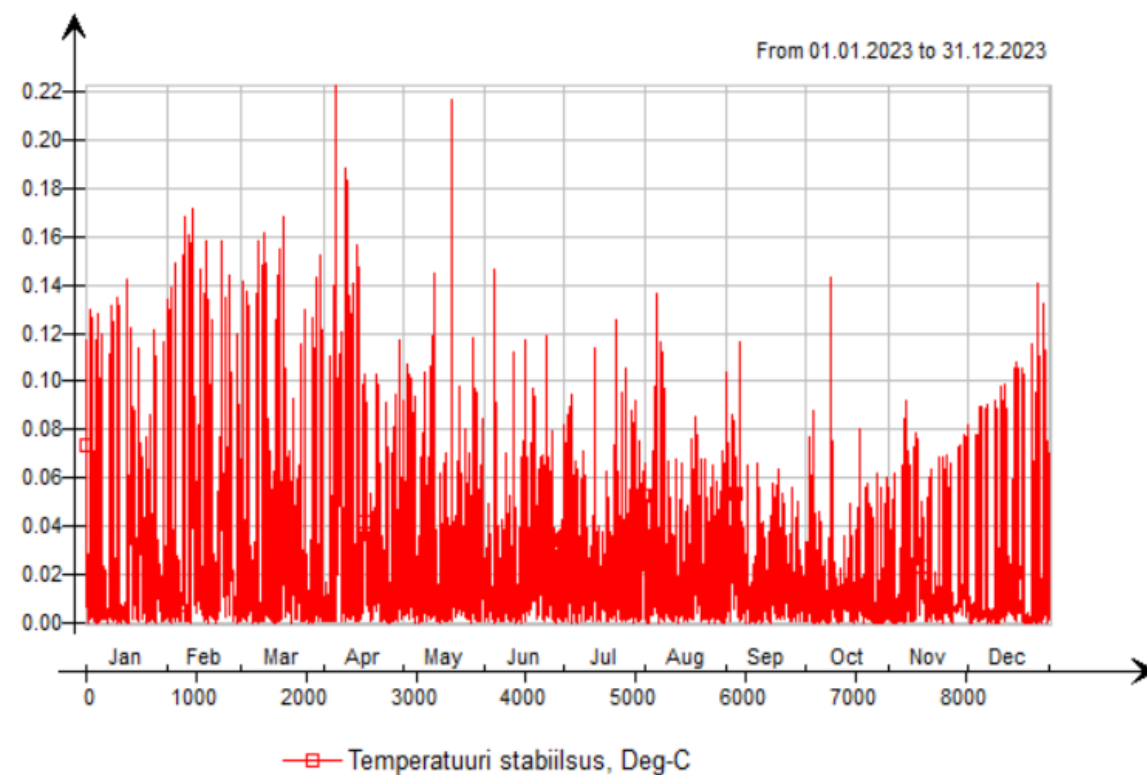
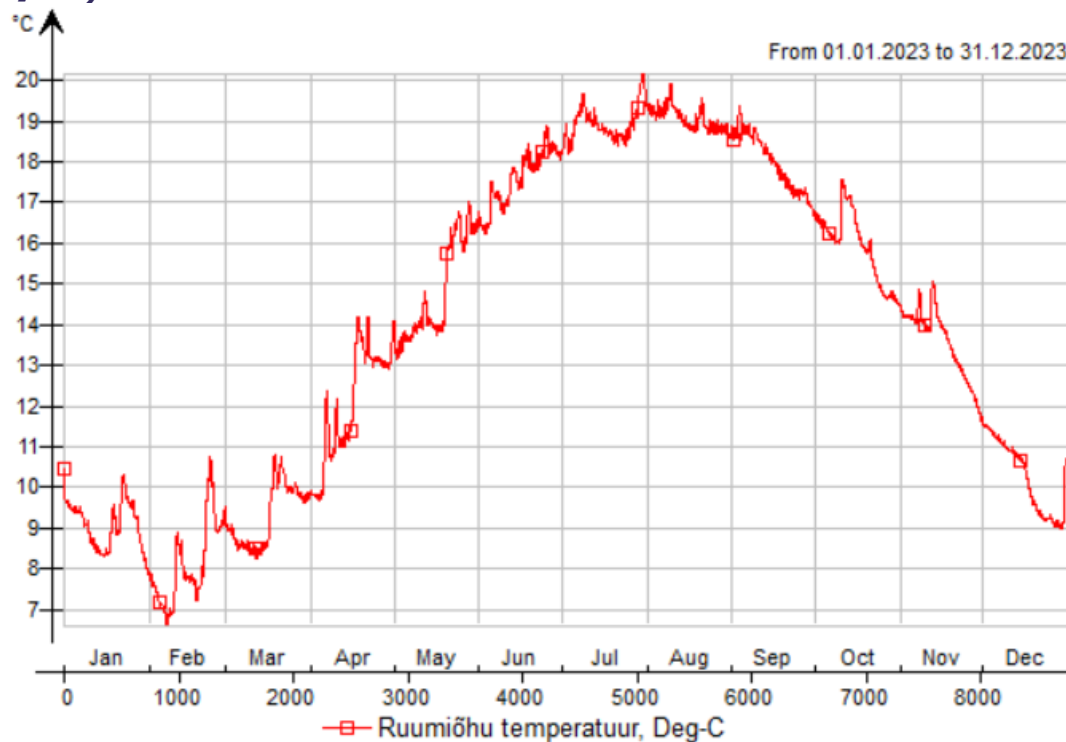
- Vastavalt simulatsioonile on hoidla RH taseme tagamiseks suurim vajalik niisutusvõimsus on hoidla siseõhu temperatuuril ca 9 °C.
- Niisuti arvutusliku võimsuse leidmiseks on lähteparameetritena kasutatud siseõhu temperatuuri 10 °C ja suhtelist niiskust 40%
- Välisõhu arvutusliku temperatuurina kasutame -21 °C ja suhtelist niiskust 80%
- Kõrvalruumide infiltratsiooni ja uste avamise mõju arvestamiseks on nende ruumide temperatuuriks arvestatud 21 °C ja suhteliseks niiskuseks 15%
- Lähtuvalt simulatsioonitulemustest selgub, et üldhoidla maksimaalne infiltratsiooni õhuvooluhulk läbi välispiirete on 23 l/s ja läbi sisepiirete keskmiselt 15 l/s (arvestades ka hoidla ja tulmeruumi vahelise väikese siseukse lühiajalise avamise mõju)
- Juhul, kui talvisel perioodil on plaanis hoidla ja tulmeruumi vahelist ust pidevalt avada, siis tuleks niisuti dimensioneerimisel ka sellega arvestada, kuid antud arvutuste käigus on lähtutud vaid väikese ukse igapäevasest lühiajalisest lahtiolekust

TULEMUSED: ÜLDHOIDLA ARVUTUSLIKUD KÜTTE-, JAHUTUS- JA NIISUTUSVÕIMSUSED

- Kui hoidla õhuvahetus on $1,0 \text{ l/(s*m}^2\text{)}$, siis on hoidla maksimaalne vajalik sissepuhkeõhu temperatuur 26 °C
- Jahutuspatarei dimensioneerimisel on suurema õhuvooluhulga korral minimaalne simulatsioonist tulenev jahutuspatarei järgne temperatuur 15 °C , mistõttu jahutuspatarei dimensioneerimisvõimsus suurema õhuvahetuse juures olulisel määral ei muutu
- Ööpäevane suhtelise niiskuse varieerumine on vastavalt teostatud simulatsioonidele (nii suurema kui väiksema õhuvooluhulgaga juhtudel) kõige kriitilisem sisekliima parameeter

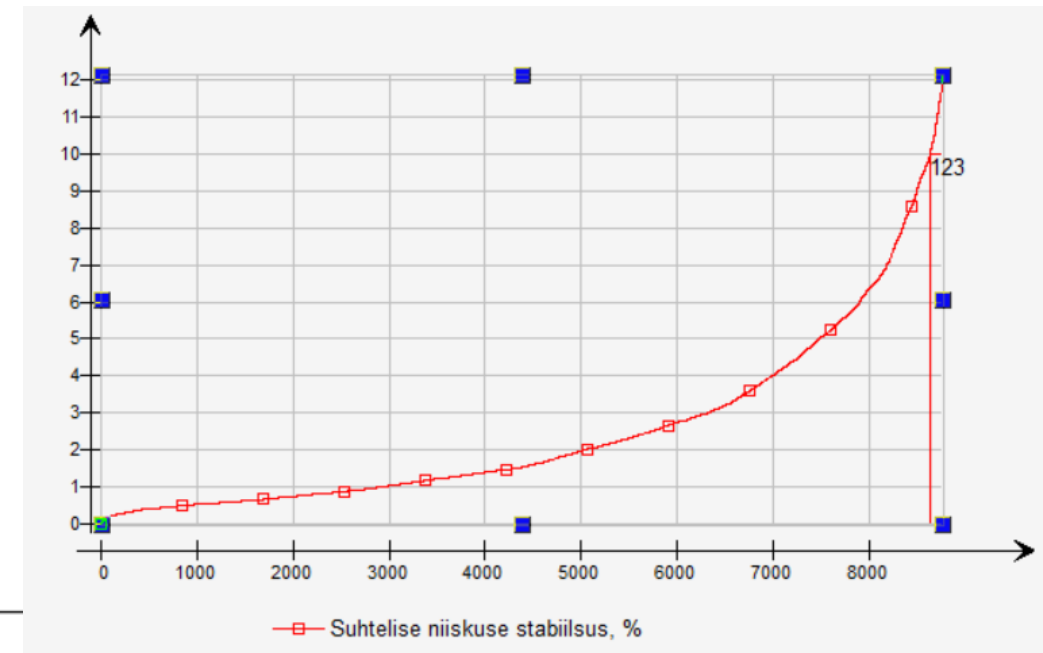
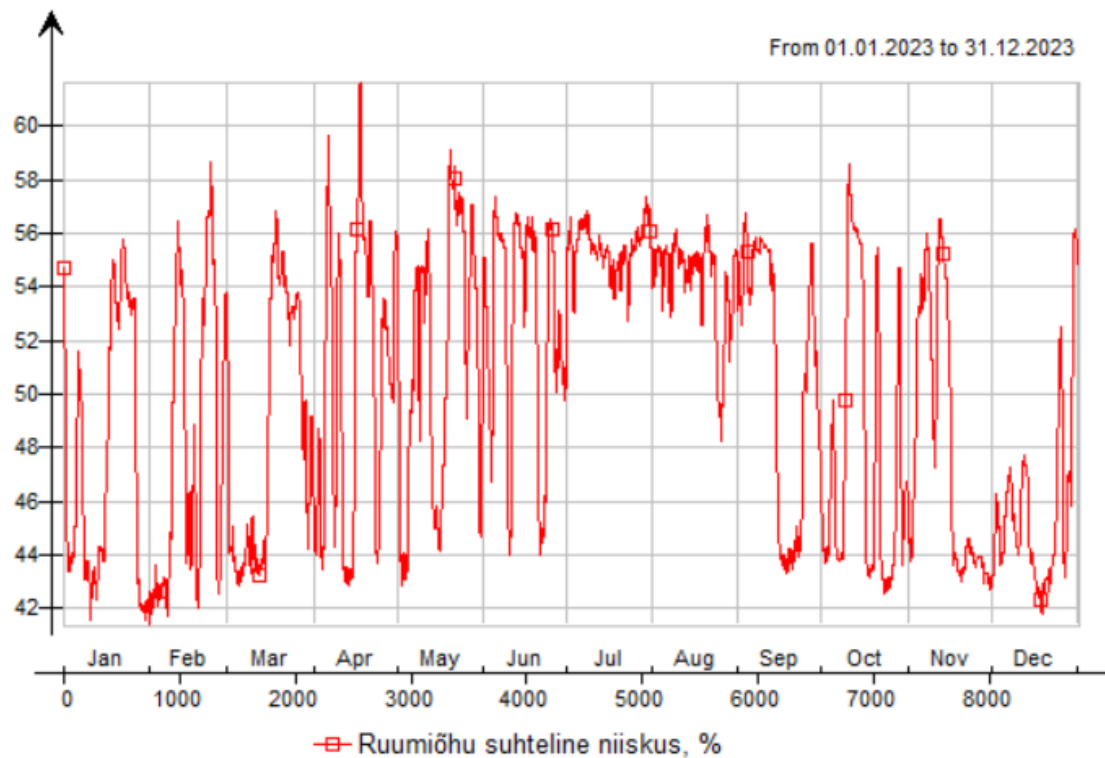
TULEMUSED: ÜLDHOIDLA SISETEMPERATUURI TAGAMINE

- Baasmudeli puhul on maksimaalne suvine hoidla sisetemperatuur **20,1 °C (<21 °C)** ja minimaalne talvine temperatuur vastavalt **6,6 °C (>0...5 °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**



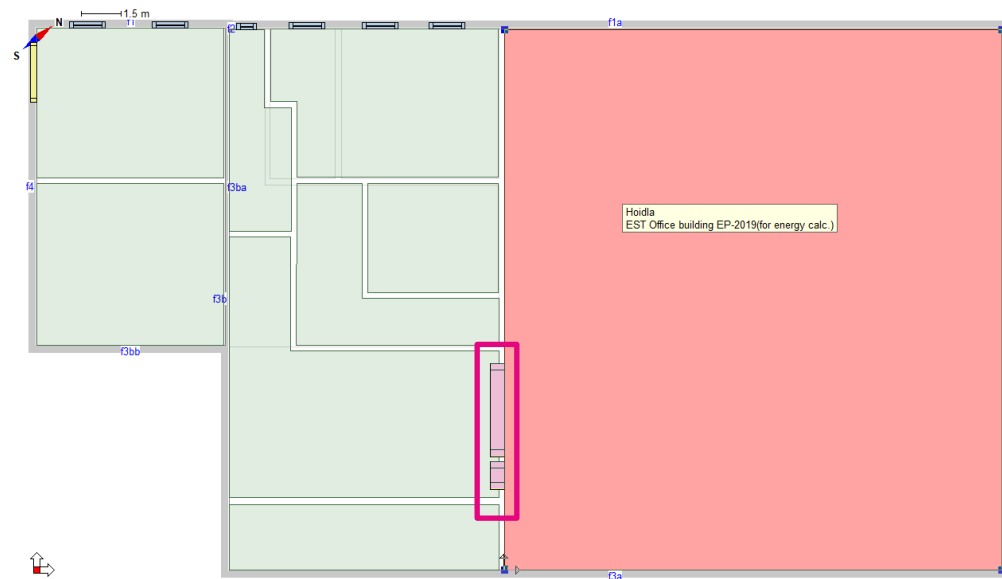
TULEMUSED: HOIDLA SISETEMPERATUURI JA RH TAGAMINE

- 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

Simulat-siooni nr	RH üle 60%, %	RH stab. üle 10% päevas, %	TE stab. üle 1 °C tunnis, %	Min. õhutempera-tuur, °C	Max. õhu-tempera-tuur, °C	Märkused
S1	0,13	1,40	0,00	6,6	20,1	Baasmudel
S2	0,00	1,04	0,00	7,0	20,0	Õhuvahetus 0,7 l/(s*m ²)
S3	0,00	0,77	0,00	7,5	19,7	Õhuvahetus 1,0 l/(s*m ²)
S4	0,14	0,95	0,00	6,4	20,1	Siseuks suletud
S5	0,13	2,15	0,06	6,9	20,2	Suur uks päevas 2 min avatud
S6	0,11	3,69	2,40	7,2	20,2	Suur uks päevas 10 min avatud
S7	0,63	4,39	0,00	5,9	20,7	2 m ³ /(h*m ²)
S8	1,28	7,52	0,00	5,4	21,1	3 m ³ /(h*m ²)
S9	0,08	0,60	0,00	6,9	19,9	0,6 m ³ /(h*m ²)

JÄRELDUSED SISEKLIIMA TAGAMISE OSAS

- Üldhoidla ja tulmeruumi vahelise väikse siseukse avamise mõju sisekliima parameetritele on suhteliselt marginaalne.
- Üldhoidla ja tulmeruumi vahelise suure siseukse avamise mõju sisekliima parameetritele on märkimisväärssem, kuid üksikutel kordadel aastas kasutamisel ei tekita ka see olulisi probleeme.
- Saab anda soovituset, mitte avada üldhoidla ja tulmeruumi vahelist suurt siseust pikaajaliseks perioodiks (>30 min) juhul, kui suhtelise niiskuse tase on lähedal selle maksimaalsele või minimaalsele lubatud tasemele.



TULEMUSED: HOIDLA SISETEMPERATUURI JA RH TAGAMINE

- Hoidla sise- ja välisseinte soojusläbivuse väärtused ei ole sisekliima parameetrite mõttes oluline
- Välisõhu ventilatsiooniseadme puhul aitab kõrge niiskustagastusega hügrokoopne rootorsoojustagasti ööpäevast suhtelise niiskuse taseme varieerumist stabiliseerida
- Kui välisõhu ventilatsiooniseadmel ei ole hügrokoopset soojustagastit või kui soojustagastust üldse ei ole, siis on suure tõenäosusega suhtelise niiskuse varieerumise stabiliseerimiseks vajalik hoidla ringlusõhuvahetust tõsta kõrgemaks kui minimaalne võimalik õhuvahetuse väärtus $0,5 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$

Simulat-siooni nr	RH üle 60%, %	RH stab. üle 10% päevas, %	TE stab. üle 1 °C tunnis, %	Min. õhutemperatuur, °C	Max. õhutemperatuur, °C	Märkused
S1	0,13	1,40	0,00	6,6	20,1	Baasmudel
S10	0,14	1,40	0,00	6,6	20,1	Hoidla välisseinad $U=0,5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
S11	0,13	1,39	0,00	6,6	20,1	Hoidla välisseinad $U=0,35 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
S12	0,14	1,38	0,00	6,6	20,2	Hoidla välisseinad $U=0,2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
S13	0,00	1,16	0,00	7,5	20,2	Hoidla siseseinad $U=0,53 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
S14	0,00	0,66	0,00	9	20,3	Hoidla siseseinad $U=1,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
S15	0,46	3,82	0,00	6,3	20,2	Ilma soojustagastita
S16	0,41	3,71	0,00	6,8	20,2	Tavaline rootor
S17	0,32	1,43	0,00	6,6	19,5	Konstantse jahutuspatarei järgse seadeväärtuse järgi juhtimine
S18	0,14	2,84	0,00	6,6	20,1	Alumise RH seadeväärtuse langetamine (40%->37%+PB:"-10"->"-6")

TULEMUSED: HOIDLA SISETEMPERATUURI JA RH TAGAMINE

- Õhutöötlusprotsesside tööpõhimõtete puhul on eelkõige suhtelise niiskuse ööpäevase varieerumise mõttes oluline, et protsesside juhtimine ei toimuks on/off reguleerimisena lubatud minimaalsel ja maksimaalsel temperatuuri/suhtelise niiskuse väärtustel

Simulat- siooni nr	RH üle 60%, %	RH stab. üle 10% päevas, %	TE stab. üle 1 °C tunnis, %	Min. õhutem- peratuu- r, °C	Max. õhu- tempera- tuur, °C	Märkused
S1	0,13	1,40	0,00	6,6	20,1	Baasmudel
S19	0,00	0,00	0,00	7,4	20,8	Ülemise RH seadeväärtuse langetamine (55%->50%)
S20	0,32	2,81	0,00	6,3	19,9	Ülemise RH seadeväärtuse tõstmine (55%->57%+PB:"-10"->"-6")
S21	0,13	2,72	0,00	6,5	20,1	On-off regulaatorid+baasmudeli seadeväärtused
S22	0,28	2,66	0,00	6,4	20,4	Värske õhu vooluhulga suurendamine (15 l/s->30 l/s)
S23	0,13	1,39	0,00	6,6	20,2	Ilma maksimaalse jahutuse temperatuuri seadeväärtuseta
S24	0,33	3,06	0,00	6,7	20,2	Tavaline hügrokoopne rootor
S25	0,13	1,39	0,00	6,6	19,8	Jahutuspatarei järgse temperatuuri langetamine (13 °C->11 °C)
S26	0,40	3,76	0,00	6,5	20,2	Plaatsoojustagasti kasutamine värskel õhul
S27	1,71	12,33	0,01	6,0	21,5	Retsirkulatsiooni klapp on kinni, ainult välisõhu kasutamine
S28	0,00	0,00	0,0	18,1	22,3	PP järgne lahendus, sisetemp. 20 kraadi, välisõhu vahetus 0,35 l/(s*m2)

TULEMUSED HOIDLA ENERGIATÕHUSUSE OSAS

- Vastavalt baasmudeli simulatsioonitulemusele on hoidla soojusenergia erikulu 7,9 kWh/m², jahutusenergia erikulu 3,2 kWh/m² ja niisuti elektri erikulu 0,6 kWh/m²
- Hoidla kogu elektri erikulu on 7,8 kWh/m²
- Mida madalamad on nii välisõhu vooluhulk kui ka retsirkulatsiooni vooluhulk, seda energiatõhusama lahendusega tegu on

Jrk nr	Soojus-energia, kWh/m ²	Jahtus-energia, kWh/m ²	Venti-laato-rite elekter, kWh	Niisuti elekter, kWh	Hoidla seadme soojus-tagas-tus, kWh/m ²	Hoidla elekter kokku, kWh/m ²	Kogu hoone elekter kokku, kWh/m ²	Märkused
S1	7,9	3,2	4,4	0,6	2,7	7,8	25,4	Baasmudel
S2	6,9	3,5	6,1	0,6	2,8	9,5	26,2	Õhuvahetus 0,7 l/(s*m ²)
S3	5,2	3,8	8,7	0,7	3,0	11,8	27,2	Õhuvahetus 1,0 l/(s*m ²)
S4	8,2	3,1	4,4	0,5	3,1	7,8	25,3	Siseuks suletud
S5	7,6	3,3	4,4	0,6	2,7	7,9	25,5	Suur uks päevas 2 min avatud
S6	6,8	3,3	4,4	0,7	2,8	7,8	25,6	Suur uks päevas 10 min avatud
S7	11,0	4,1	4,4	0,9	2,6	9,2	26,5	2 m ³ /(h*m ²)
S8	13,6	4,9	4,4	1,2	2,6	10,4	27,6	3 m ³ /(h*m ²)
S9	6,5	2,7	4,4	0,4	2,7	7,2	24,9	0,6 m ³ /(h*m ²)

TULEMUSED HOIDLA ENERGIATÕHUSUSE OSAS

Jrk nr	Soojus-energia, kWh/m ²	Jahtus-energia, kWh/m ²	Venti-laato-rite elekter, kWh	Niisuti elekter, kWh	Hoidla seadme soojus-tagas-tus, kWh/m ²	Hoidla elekter kokku, kWh/m ²	Kogu hoone elekter kokku, kWh/m ²	Märkused
S1	7,9	3,2	4,4	0,6	2,7	7,8	25,4	Baasmudel
S10	8,0	3,2	4,4	0,6	2,7	7,9	28,4	Hoidla välisseinad U=0,5 W/(m ² *K)
S11	8,0	3,2	4,4	0,6	2,7	7,9	27,3	Hoidla välisseinad U=0,35 W/(m ² *K)
S12	8,0	3,2	4,4	0,6	2,7	7,8	26,2	Hoidla välisseinad U=0,2 W/(m ² *K)
S13	5,4	3,0	4,4	0,6	2,8	7,2	25,4	Hoidla siseseinad U=0,53 W/(m ² *K)
S14	2,7	2,7	4,4	0,8	3,1	6,6	25,5	Hoidla siseseinad U=1,0 W/(m ² *K)
S15	10,3	3,5	4,4	0,8	0,0	8,8	25,9	Ilma soojustagastita
S16	8,8	3,6	4,4	0,9	2,6	8,5	25,7	Tavaline rootor
S17	13,2	10,5	4,4	0,5	2,5	11,2	27,0	Konstantse jahutuspatarei järgse seadeväärtuse järgi juhtimine
S18	7,8	3,2	4,4	0,4	2,6	7,6	25,3	Alumise RH seadeväärtuse langetamine (40%->37%+PB:"-10"->"-6")

JÄRELDUSED HOIDLA ENERGIATÕHUSUSE OSAS

- **Hoone õhupidavusel** on hoone üldisele energiatarbimisele selge mõju
- Hoidla **välisseinte soojusläbivuse** väärtus võiks olla **alla 0,2 W/(m²*K)**
- Hoidla ja hoone ülejäänud ruumide vaheliste siseseinte soojusläbivuse väärtus võiks olla **alla 0,5 W/(m²*K)**
- Hoidla välisõhuvahetust tagava ventilatsiooniseadme soojustagastuse olemasolul ei mõjuta see hoone energiatõhusust olulisel määral
- Hoidla õhutöötlusseadme jahutuspatarei järgset temperatuuri tuleks kindlasti juhtida vajaduspõhiselt. Konstantse seadeväärtuse alusel juhitud jahutuspatarei järgne temperatuur tõstab oluliselt hoidla energiakulu
- Baasmudelisse valitud sise- ja välisseinad ning õhutöötlusprotsessi tehniline lahendus on suhteliselt optimaalsed ja oluliselt energiatõhusamat lahendust pole antud lähtetingimuste puhul võimalik välja pakkuda
- 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

TULEMUSED HOIDLA ENERGIATÕHUSUSE OSAS

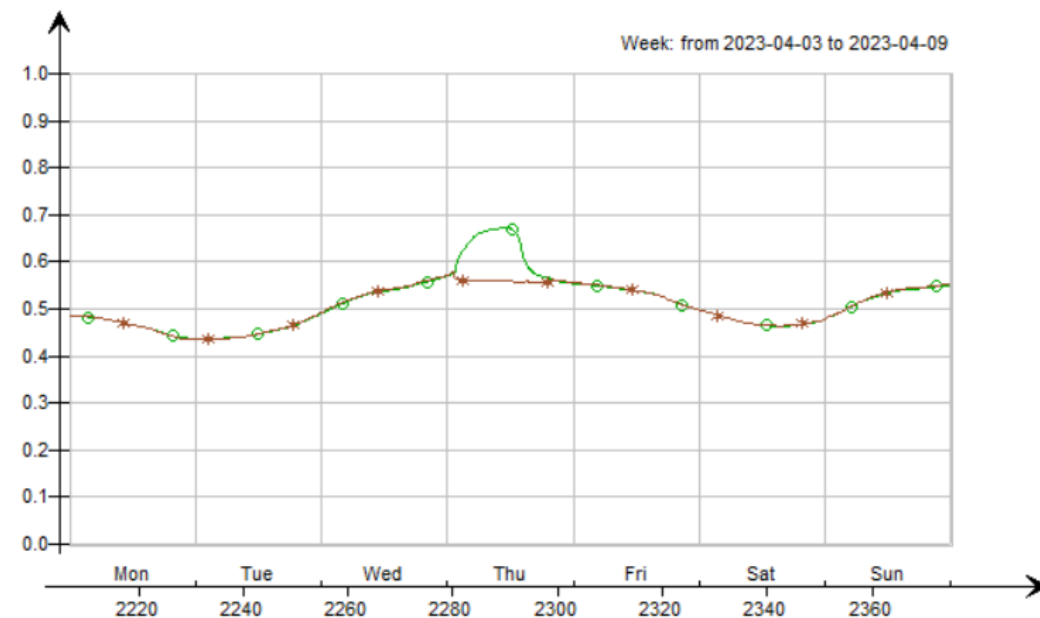
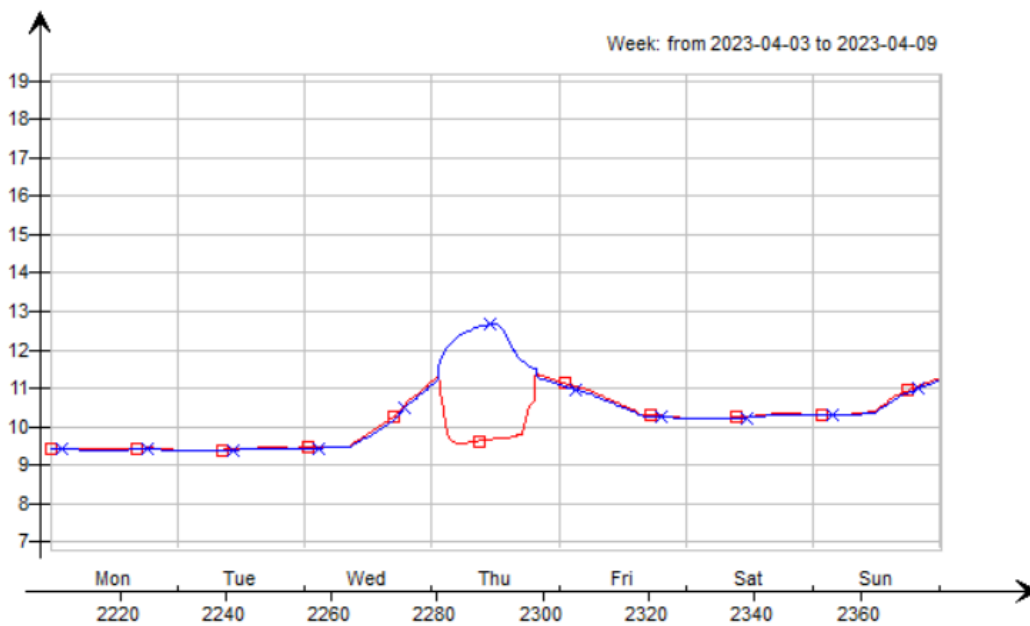
Jrk nr	Soojus-energia, kWh/m ²	Jahtus-energia, kWh/m ²	Venti-laato-rite elekter, kWh	Niisuti elekter, kWh	Hoidla seadme soojus-tagas-tus, kWh/m ²	Hoidla elekter kokku, kWh/m ²	Kogu hoone elekter kokku, kWh/m ²	Märkused
S1	7,9	3,2	4,4	0,6	2,7	7,8	25,4	Baasmudel
S19	14,0	5,9	4,4	0,7	3,0	10,2	26,4	Ülemise RH seadeväärtuse langetamine (55%->50%)
S20	6,3	2,4	4,4	0,5	2,6	7,2	25,1	Ülemise RH seadeväärtuse tõstmine (55%->57%+PB:"-10"->"-6")
S21	8,2	3,2	4,4	0,4	3,2	7,7	25,4	On-off regulaatorid+baasmudeli seadeväärtused
S22	8,9	3,6	4,4	0,7	5,2	8,3	25,6	Värske õhu vooluhulga suurendamine (15 l/s->30 l/s)
S23	7,9	3,2	4,4	0,6	2,7	7,8	25,4	Ilma maksimaalse jahutuse temperatuuri seadeväärtuseta

TULEMUSED HOIDLA ENERGIATÕHUSUSE OSAS

Jrk nr	Soojus-energia, kWh/m ²	Jahtus-energia, kWh/m ²	Venti-laato-rite elekter, kWh	Niisuti elekter, kWh	Hoidla seadme soojus-tagas-tus, kWh/m ²	Hoidla elekter kokku, kWh/m ²	Kogu hoone elekter kokku, kWh/m ²	Märkused
S1	7,9	3,2	4,4	0,6	2,7	7,8	25,4	Baasmudel
S24	8,6	3,5	4,4	0,8	2,5	8,3	25,6	Tavaline hügrokoopne rootor
S25	8,6	4,3	4,4	0,5	2,6	8,3	25,7	Jahutuspatarei järgse temperatuuri langetamine (13 °C->11 °C)
S26	8,4	3,6	4,4	0,9	2,4	8,4	25,7	Plaatsoojustagasti kasutamine värskel õhul
S27	19,4	6,8	4,4	2,1	30,0	13,3	28,0	Retsirkulatsiooni klapp on kinni, ainult välisõhu kasutamine
S28	69,8	8,5	4,4	7,2	50,9	25,5	33,0	PP järgne lahendus, sisetemp. 20 kraadi, välisõhu vahetus 0,35 l/(s*m2)

TULEMUSED: HOIDLA SISETEMPERATUURI JA RH KIHISTUMINE

- Kui õhujoa kiirus põrandapinna läheduses 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 põrandapinna läheduses 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 tuleb seega osutada kõrgendatud tähelepanu. Vajalik võib olla täiendavate laetiivikute kasutamine
- 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.



HOIDLA SISETEMPERATUURI JA RH KIHISTUMINE

- Õhujaotus tuleb teostada nii, et sissepuhkeõhujoad jõuavad põrandani, vähemalt 6 m sammuga kõikidel hoidla seintel allapoole suunatud sissepuhkeotsikud või alternatiivselt laest pikka juga andvate sissepuhke õhujaoturite abil
- See on vajalik soojendatud sissepuhkeõhu efektiivseks segunemiseks ja temperatuuri- ning niiskuseerinevuste vältimiseks
- Sissepuhkeõhu maksimaalne temperatuur ei tohiks üldhoidlates olla kõrgem kui 30 °C
- Kui simulatsiooniarvutused seda lubavad, siis võiks võimalusel kasutada sissepuhkeõhu maksimaalset temperatuuri ligikaudu 25 °C, sest see aitab vähendada hoidla vertikaalset sisetemperatuuri ja niiskuse kihistumist
- Kui projekteerimisel selgub, et sissepuhke õhujaotajate jugade kiirused on liiga väikesed ja on oht suure vertikaalse temperatuurikihistumise tekkeks, siis võib hoidlaruumi lakke kaaluda vajaduspõhiselt töötavate laetiivikute panekut

PASSIIVSETE MEETMETE RAKENDAMINE: NÕUDED HOONE TARINDITELE JA HOIDLATE PAIKNEMISELE

- **Hoidlate vaheseinad**

- Hoidlate vaheseinad ehitatakse mittekandeseintena poorbetoonist (nt Aeroc). Poorbetooni kasutamine vaheseinte materjalina tagab madala energiakuluga hoidlate ehitusfüüsikaliseks toimimiseks vajaliku niiskuspuhvri. Selle tõttu on hoidla seinapindade viimistlemine (värvimine) rangelt keelatud.

- **Hoidlate põrandad**

- Plaat pinnasel tüüpi põrand soojustatakse täies ulatuses vähemal 150 mm soojustusega.

- **Vahelaed**

- Põhikorruse ja hoidlate vahelised vahelaed soojustatakse vähemalt 100 mm soojustusega.

- **Hoidlate õhupidavus**

- Hoidlate suhtelise niiskuse kontroll eeldab, et hoidlad on ehitatud võimalikult hea õhupidavusega. Hoidlate välispiirete õhulekkearv ei tohi ületada $1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 50 Pa rõhkude erinevusel. Selle saavutamiseks tuleb tagada väliseinte ja katuslae liitumise õhupidavus.

- **Hoidlate paiknemine**

- Üldhoidlad tuleks võimalusel rajada ühe ruumina. Kasutada võib ülejäänud hoidla õhuruumi avatatud vahekorrustega lahendust.

- **Hoidlaruumi ja ülejäänud hoone ruumide vahelised siseuksed**

- Piisavalt suure pindalaga hoidlaruumi korral ei mõjuta vaheuste lühiajaline avamine olulisel määral hoidla sisekliima parameetrite tagamist. Seega ei ole üldjuhul eraldi lüüsi ruumi rajamine otstarbekas.

MUUD TÄHELEPANEKUD SÜSTEEMI PROJEKTEERIMISEL

- Süsteemi võib vajadusel dimensioneerida nii, et välisõhu vooluhulka saaks suurendada kuni $0,2 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$, et hoidlast ehitusniiskust välja kuivatada
- Väikeste hoidlaruumide puhul on välisõhu vooluhulk nii väike, et süsteemi võiks põhimõtteliselt välja ehitada ka ilma soojustagastuseta, kuid suuremates hoidlates võiks soojustagastus olla
- Teostatud simulatsioonid näitasid, et baasmudeli lähteandmete puhul ei langenud hoidlaruumi sisetemperatuur alla $6,6 \text{ }^\circ\text{C}$, mistõttu antud uuringus vaadeldud üldhoidla ruumi lisaks kütta vaja ei olnud.
- Kui hoidlaruumi sisetemperatuur langeb talvisel perioodil alla lubatud piirväärtuse (näiteks $3\text{--}5 \text{ }^\circ\text{C}$), siis on mõistlik retsirkulatsiooniseadme küttekalorifeeri abil hoidlaruumi mõningal määral lisaks kütta
- Arvestades, et hoidla ei ole pidevalt viibitav ruum, peaks hoidlas olema CO_2 andur ja tabloo, kust on võimalik CO_2 taset monitoorida, juhul kui mingil põhjusel viibitakse ruumis kauem.
- Hoidla retsirkulatsiooniseadme temperatuuri ja suhtelise niiskuse juhtimine tuleb teostada hoidla alumises tsoonis paiknevate temperatuuri ja suhtelise niiskuse andurite alusel või kombineerituna alumise ja ülemise ning väljatõmbes paiknevate andurite näitude alusel
- Analoogetes kõrgetes hoidlates ei saa süsteemi tööd juhtida ainult väljatõmbeõhu kanalis paiknevate andurite näitude alusel

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 püsimine 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 reguleerimine 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.

UURINGU TULEMUSED



Ehituse ja Arhitektuuri Instituut
Liginullenergiahoonete uurimisrühm



Ehituse ja Arhitektuuri Instituut
Liginullenergiahoonete uurimisrühm

Üldhoidla kliimakontseptsioon Hiiumaa hoidla näitel

Üldhoidla IDA ICE modelleerimise juhend

Üldhoidla kliimakontseptsioon Hiiumaa hoidla näitel

Uuringu aruanne

Tellija:
Muinsuskaitseamet

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

Tellija:
Muinsuskaitseamet

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

Tallinn 2024

Tallinn 2024



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 töokeskkonda, on Eesti jaoks hindamatute kultuuriväärtuste säilimine ohus.

<https://www.muinsuskaitseamet.ee>

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 püsimine 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 reguleerimine 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.

**TAL
TECH**

TÄNAN TÄHELEPANU EEST!