



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

SOOJUSTEHNKA INSTITUUT

Soojusenergeetika õppetool

MSJ40LT

Sten Kaskema

**ETTEVÕTTE REPO VABRIKUD AS JÄÄKSOOJUSE
KASUTAMINE KÜTTEKS**
Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn
2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Aleksandr Hlebnikovi juhendamisel

“27” mai 2014 a.

Töö autor Sten Kaskema

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....2014 a.

Juhendaja Aleksandr Hlebnikov

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....2014 a.

..... allkiri

SISUKORD

SISUKORD.....	2
<i>BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE</i>	3
EESSÕNA.....	4
1. SISSEJUHATUS.....	5
2. ETTEVÖTTE TUTVUSTUS.....	7
3. ÕHKKÜTTE ISELOOMUSTUS.....	9
4. SOOJUSLIKUD ARVUTUSED.....	12
4.1. HOONETE ANALÜÜS JA ALGANDMED	12
4.2. HOONE SOOJUSKAOD.....	15
5. ERINEVAD SOOJUSTAGASTUSSÜSTEEMID.....	23
5.1. Plaatsoojusvaheti.....	23
5.2. Vahesoojuskandjaga soojustagasti	24
5.3. Rootorsoojusvaheti.....	25
6. TULEMUSED.....	27
6.1 Soojusvaheti valik	27
6.2. Arvutused tulemuste kohta	27
KOKKUVÕTE.....	30
SUMMARY	31
KASUTATUD KIRJANDUS	32
LISAD.....	33
LISA 1.....	34
LISA 2.....	35
GRAAFILINE OSA	40

BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE

2014 aasta 6. semester

Üliõpilane: Sten Kaskema 112476MASB
Õppekava: MASB 02/09
Eriala: Soojusenergeetika
Juhendaja: dotsent Aleksandr Hlebnikov
Konsultandid: Märt Riistop, tehnikadirektor, 57880446

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Ettevõtte Repo Vabrikud AS jääsoojuse kasutamine kütteks
(inglise keeles) Using Repo Vabrikud AS waste heat for heating

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Sissejuhatus	19. jaanuar
2.	Ettevõtte lühitutvustus	02. veebruar
3.	Teoreetiline osa	02. märts
4.	Soojuslikud arvutused	20. aprill
5.	Järeldused ja kokkuvõte	11. mai

Lahendatavad inseneritehnilised ja majanduslikud probleemid: Kuna tootmishoonest väljapuhutatav õhk sisaldab õliaure, puidutolmu ja formaldehüüdi, ei saa sooja õhk otse laohoonesse suunata, tuleb leida viis õhust soojuse kätte saamiseks.

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel: eesti

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt

Töö esitamise tähtaeg 27.05.2014

Üliõpilane Sten Kaskema /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Aleksandr Hlebnikov /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöörde

EESSÕNA

Lõputöö teema anti välja AS Repo Vabrikud algatusel. Alandmete kogumine toimus Püssi linnas, AS Repo Vabrikud kontoris ja tootmishoones.

Alandmete kogumisega aitas peamiselt AS Repo Vabrikud tehnikadirektor Märt Riistop ning samuti aitasid konsultatsioonidega teised ettevõtte töötajad. Lõputöö koostamisel oli suureks abiks töö juhendajalt, Aleksandr Hlebnikovilt, saadud andmetest ja arvutusviisidest.

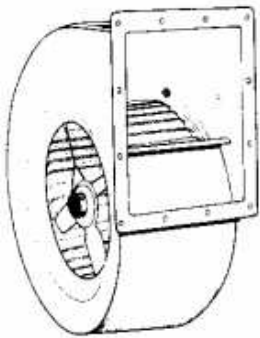
Ühtlasi soovin siinkohal avaldada tänu kõigile lõputöö koostamisel abiks olnud isikutele.

1. SISSEJUHATUS

Töö eesmärk on analüüsida võimalusi ja tasuvust tööstuhoone ühe ruumi jääksoojuse ärakasutamist teise ruumi kütmiseks. Valisin selle teema, kuna mind ennast huvitavad erinevad energia kokkuhoidmise võimalused. See on konkreetne näide kokkuhoiust ja jääksoojuse kasutamisest. Ettevõttele on nimetatud teema oluline, kuna hetkel on probleeme valmistoodangu laos sisetemperatuuri hoidmisega, seda eelkõige just talveperioodil.

Töö koostamiseks on kasutatud peamiselt Microsoft Office keskkonda. Arvutused, tabelid ja graafikud on koostatud kasutades Microsoft Excelit. Joonised on koostatud AutoCAD-iga.

Ettevõtte tootmisruumis, kus asub lamineerimispress, on temperatuur kõrge protsessi käigus eralduva soojuse tõttu. Katla abil kuumutatakse õli, mis suunatakse lamineerimispressi ja millest saadava soojusenergia abil pressitakse saepuru ja muud peened puidujäätmed kokku. Protsessi iseärasuste tõttu on ruumi õhk mürgine, seda peamiselt suure formaldehüüdi sisalduse tõttu. Formaldehüüd on tugev allergeen ning võib põhjustada allergilist nohu ja hingamisteede haigusi (allergilist bronhiiti või bronhiaalastmat). Et hoida õhku erinevate piirnormidega kooskõlas, on selles ruumis tugev mehaaniline ventilatsioon, mis toimub tsentrifugaal- ehk radiaalventilaatorite abil (vt. Joonis 1.1 ja Lisa 2, Foto 3).



Joonis 1.1 Tsentrifugaal- ehk radiaalventilaator

Ruumides, kus õhuvahetuse kordarv peab olema üle ühe, ei taga loomulik ventilatsioon nõutavat õhuvahetust, seega on vaja rakendada täiendavat mehaanilist sundventileerimist. Mehaaniline ventilatsioon teostatakse õhu sundliikumise komponentide abil. Tavaline ruumi

mehaaniline ventilatsioon koosneb sissepuhkesüsteemist ja väljatõmbesüsteemist. Erandjuhtudel on mehaaniline ventilatsioon võimalik ka ainult ühe süsteemiga. Ainult sissepuhkesüsteemi korral peavad olema ette nähtud avad, mille kaudu saastatud õhk saaks ruumist lahkuda. Vaid väljatõmbesüsteemi olemasolul tuleb tagada õhu juurdevool ventileeritavasse ruumi. Kui need nõuded on täitmata, võib sündsissepuhke või –väljatõmbega ruum sattuda ventilaatori poolt loodava ülerõhu või vaakumi alla, ilma et toimuks vajalikku õhuvahetust. [1]

Ettevõtte valmistoodangu laos on suuri probleeme temperatuuri hoidmisega. Ruumil on kaks suurt välisust ja neid peab pidevalt avama, et laadida valmistoodangut autodele. Kuna tegu on vana hoonega, puudub ka soojustus. Hoones toimub loomulik ventilatsioon ja õhutemperatuur on pidevalt lähedane välistemperatuuriga.

Loomulik ventilatsioon on ventileerimisviis, kus õhuvahetus toimub õhu tiheduse vahe ja/või tuule toimel tekkinud rõhkude vahe tõttu. Loomulik ventilatsioon toimub läbi lekkekohtade (infiltratsioon) ja avade (ventilatsioon) ehitises ilma õhu sundliikumise komponentideta. [1] Hetkeolukorras on lekkekohtadeks ja avadeks siis peamiselt suured ukSED, mida tihti avatakse ja väiksemad avauseid seintes, näiteks aknapraod.

Kogu hoonetekompleksi ja lamineerimispressi jaoks vajalik soojus saadakse 3 MW katlast (vt. Lisa 2, Foto 1 ja Foto 2). Kütusena kasutatakse lihvimistolmu ja puidujäätmeid. Kuna kütuseks on peened ja kuivad jäätmed, puudub vajadus kütuse ettevalmistamiseks. Katla kasuteguriks hinnatakse 80 %.

Eesmärk on ära kasutada lamineerimispressi ruumist väljapuhutatavat soojust valmistoodangu lao kütmiseks. Mürgiste gaaside sisalduse tõttu ei saa lamineerimispressi ruumi sooja õhku otse kõrvalruumi suunata. Üks võimalus on paigaldada õhk-õhk tüüpi soojusvaheti, et kasutada lamineerimispressi ruumist eraldatavat soojust valmistoodangu lao kütmiseks. Selle võimalikkuse ja iseärasuste uurimisele on suunatud lõputöö. Vajalik on saavutada võimalikult suur kasu võimalikult väikese investeeringuga.

2. ETTEVÖTTE TUTVUSTUS

Repo Vabrikud AS on kaasaegsel tehnoloogial baseeruv konkurentsivõimeline puidutööstusettevõtte, mis tegeleb puitlaastplaatide tootmisega. Tegu on suurima melamiinkattega puitlaastplaadi ja mööblidetallide tootjaga Baltimaades ja Põhja-Euroopas. Ettevõtte kuulub Sorbes gruppi. Omanik on Šveitsi finantsinvestor Sorbes AG, mille peakontor asub Zugis. Ettevõtte käive 2009. aastal oli 323,2 miljonit krooni. Ettevõttel on 35 aastat plaaditootmise kogemust.

Puitlaastplaat on puitplaat, mis on valmistatud kõrgel temperatuuril ja surve all kokku pressitud puitlaastust, saepurust ja vaiksidadeinest. Kasutatakse erinevaid sideaineid, peamiselt karbamiid- ja fenoolformaldehüüdvaike. Puitlaastplaadi paksus jääb enamasti vahemikku 6-28 mm, enamjaolt kasutatakse plaate paksusega 12-25 mm. Plaadi tihedus on kuni 670 kg/m³. Formaat tootmisliinilt väljudes on vastavalt vajadusele 5500 x 1830 mm või 2750 x 1830 mm. Plaadi niiskusesisaldus jääb vahemikku 5-13 %. Kliendid saavad valida laialdase dekooride kollektsiooni hulgast. Valikus on ca 100 dekoori.

Tootmisprotsess näeb välja järgnevalt. Puidujätmed nagu saepuru ja hake kuivatatakse ning sõelutakse. Jämedamad osad hakitakse. Seejärel toimub liimimine, kus hakkele lisatakse vaigud ja lisaained. Peale liimimist toimub plaadi formeerimine, plaat koosneb kolmest kihist:

- 1) pealmine kiht, pindmine laast;
- 2) sisemine laast;
- 3) alumine kiht, pindmine laast.

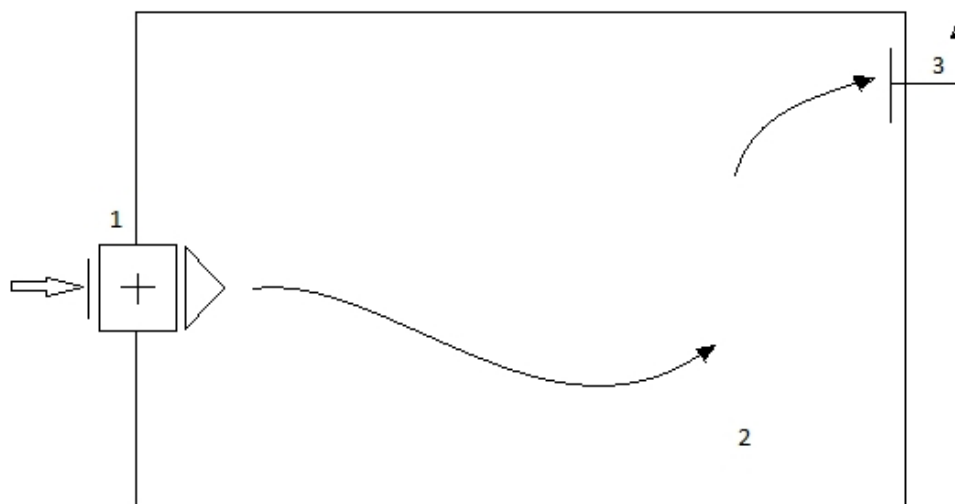
Kui plaat on formeeritud, toimub kontrollkaalumine ja sealt liigub plaat edasi pressimisse. Pressimine toimub suure temperatuuri ja rõhu all, kus plaat liigub läbi mitme pressi, kuni on saavutanud vajaliku tiheduse. Peale pressimist toimub kontrollmõõtmine ja seejärel plaadid jahutatakse, saetakse sobivasse mõõtu ning lihvitakse. Peale lihvimist teostatakse kvaliteedi kontroll ja plaadid ladustatakse valmistoodangu laos.

Kogu toodang on rahvusvaheliselt konkurentsivõimeline ja on sertifitseeritud vastavalt Euroopa/Eesti ja rahvusvahelistele standarditele. Toimub toodangu pidev kontroll Soome Tehnilise Kontrolli Keskuse VTT ja Rootsi SP poolt. Ettevõtte ekspordib 88 % oma toodangust, toodangut eksporditakse 17 Euroopa, Aasia ja Aafrika riiki, peamised turud on Soome (37 % kogu toodangust) ja Rootsi (17 % kogu toodangust). 54 % toodangust läheb

mööblitootjatele, 25 % edasimüüjatele ja 21 % väike-ettevõtjatele ja ehitajatele. Ettevõttes töötab 270 inimest. Lisatud ettevõtte struktuuriplaan (vt. Lisa 1).

3. ÕHKKÜTTE ISELOOMUSTUS

Õhkküttesüsteemides kasutatakse soojuskandjana õhku, mis sojendatakse vajaliku temperatuurini ja juhitakse köetavasse ruumi. Nii on küte ja ventilatsioon ühendatud. Sisepuhutava õhu temperatuur on kõrgem ruumiõhu temperatuurist. Ruumis õhuhulgad segunevad, mille tulemusena siseõhule kompenseeritakse soojuskadude katteks kulutatud soojushulk.



1- õhkkütte agregaat, 2- viibimisala, 3- väljatõmbeõhu kanal.

Joonis 3.1 Õhkkütte skeem

Soojuskandjana toimiva ja ringleva õhu tõttu on õhkküttesüsteemil rida omadusi:

- õhkküttesüsteemi abil saab ühes ruumis tekkiva liigsooja suunata teisse ruumi, kus on soojust puudu,
- õhkküttesüsteemi saab hõlpsasti lisada õhupuhastuse, jahutuse ja niisutuse,
- kerge on paigaldada soojustagastit,
- õhkküttekaloriiferi küttepinda on võimalik kergesti suurendada, mis võimaldaks kasutada madalama temperatuuriga soojuskandjat kui vesikeskkütte radiaatorites.

Eristatakse koht- ja keskõhkkütet. Keskküttesüsteemis sojendatakse õhku kogu hoonele ühises seadmes, millest soe õhk juhitakse mööda jaotuskanaleid köetavatesse ruumidesse. Kohtõhkkütte puhul kasutatakse köetavas ruumis ülesseatud õhkkütteagregaati, mis sojendab vahetult ruumis ringlevat siseõhku.

Õhkküttesüsteemis võib soojuskandja liikuda raskusjõudude toimel või ventilaatori jõul. Ventilaatori abil on kergem tagada kaloriiferides vajalikke õhukiirusi.

Õhkküttesüsteemid jagunevad ainult küttesüsteemideks ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemideks. Puhtalt õhkküttesüsteemides kasutatakse soojuskandjana ainult ringlusõhku ja selline süsteem ei täida mingilgi määral ruumi õhutamise otstarvet. Sellist süsteemi on võimalik kasutada ruumides, kus puuduvad igasugused kahjulikud eritised.

Kütte- ja ventilatsioonisüsteemides kasutatakse ruumidesse juhtimiseks kas ainult puhast välisõhku või välisõhu ja tagastusõhu segu.

Õhkkütteagregaadid sisaldavad kaloriiferit, ventilaatorit, filtrit ja soojustagastit. [1]

Õhkkütte eelised:

- puuduvad küttekehad,
- väike metallivajadus (puuduvad torud, küttekehade armatuur jm.),
- väike ruumivajadus,
- lihtne montaaž,
- ruume on võimalik kiiresti üles kütta,
- suvisel ajal saab sama süsteemi abil ruume jahutada,
- probleemsete lekete puudumine.

Õhkkütte puudused:

- ruumide väikese niiskuskooormuse korral on õhu suhteline niiskus ruumis madal,
- võimalikud lubatust suuremad õhuliikumiskiirused inimeste viibimisasal,
- ruumi sissepuhutava õhu maksimumtemperatuuri piiratud suurus. [5]

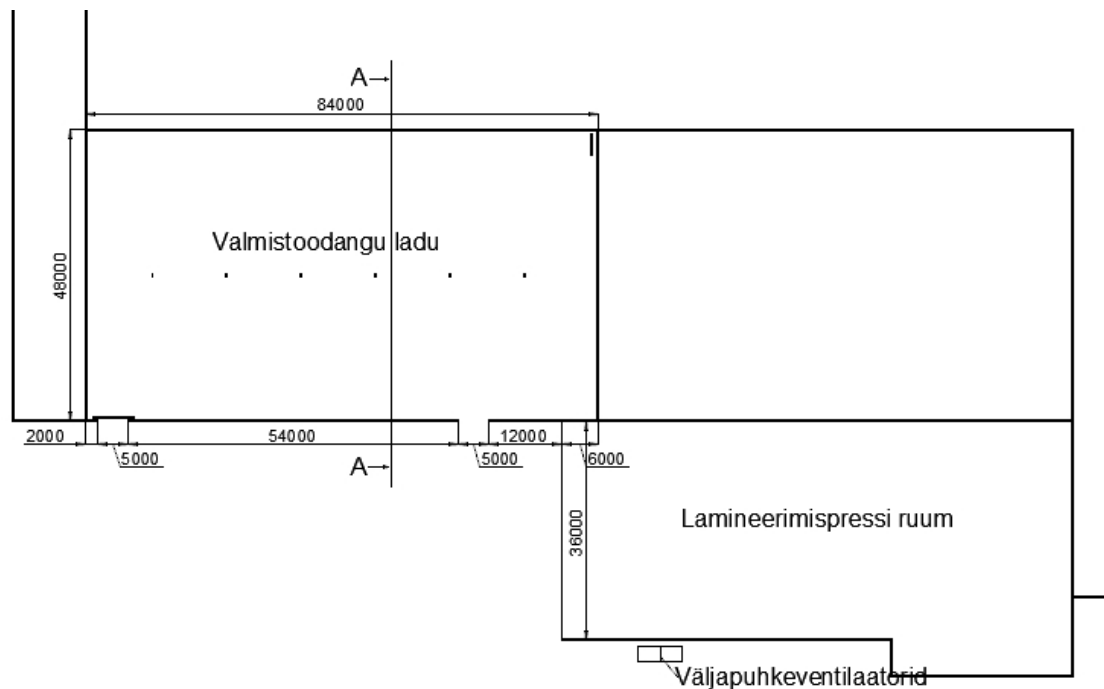
Õhkküttesüsteem on seda kallim, mida rohkem kasutatakse soojuskandjana välisõhku. Talvel on välisõhu temperatuur alati madalam siseõhu temperatuurist, mistõttu selle soojendamiseks kulutatakse rohkem soojust. Õhkküte on peamiselt kasutusel ühepereelamutes, kuna see on ökonoomne ja mugav. [1] Antud olukorras on seda aga kasulik kasutada ka suures laohoones, kuna on palju jääsoojust, mida saab ära kasutada.

Õhkkütte kombineerimisel ruumide ventilatsiooniga tuleb lisaks vajaliku temperatuuriga õhu viibimistsooni jõudmise tagamisele, arvestada ka õhuvahetuse vajaliku efektiivsuse kindlustamisega. Vastasel korral võib tekkida olukord, kus vaatamata arvutuslikele või isegi nendest suurematele välisõhu vooluhulkadele, jääb ruumi õhuvahetus puudulikuks ja kahjulike ainete kontsentratsioon ruumi õhus tõuseb üle lubatava normi. Selline olukord tekib eelkõige õhu sissepuhke- ja väljatõmbe seadmete ebasobiva valiku ja paigalduse tõttu. Võimalusel võiks soojendatud õhku sisse puhuda ruumi alumisse ossa, kuna soe õhk tõuseb üles ja saastunud õhku välja tõmmata ruumi ülemisest tsoonist. Samuti on sageli otstarbekas õhuvahetust organiseerida vastasseintesse või nende vahetusse lähedusse paigutatud ventilatsiooni lõppseadmetega (plafoonid, restid, õhuhajutajad jmt). Seejuures tuleb alati kontrollida sissepuhke-seadmete sobivust ja täiendavate lisaseadmete (nt suunatavad salužiid, koonused õhujoa pikendamiseks jmt) kasutamise vajadust soojendatud õhu ruumi puhumiseks. Sellisel juhul saab tagada kõrge õhuvahetuse efektiivsuse õhkküttega ruumis. [5]

4. SOOJUSLIKUD ARVUTUSED

4.1. HOONETE ANALÜÜS JA ALGANDMED

Vaadeldavatateks hooneteks on lamineerimispressi ruum ja valmistoodangu ladu (vt. Lisa 2, Foto 4 ja Foto 5).



Joonis 4.1.1 Hoonete plaan

Kuna puidujäätmel seotakse spetsiaalse liimi abil, tekib protsessi käigus palju mürgised gaasid. Ruumis olev õhk sisaldab õliaure, puidutolmu ja formaldehüüdi. Seetõttu peab lamineerimispressi ruumis olema suur õhuvahetuskiirus, mis saavutatakse mehaanilise ventilatsiooniga. Õliaurude piirnorm on 1 mg/m^3 . Puidutolmu piirnorm on 2 mg/m^3 . Formaldehüüdi piirnorm ehk keemilise aine keskmine sisaldus sissehingatavas õhus tööpäeva või töönädala jooksul on 0,5 ppm. Lühiajalise toime piirnorm ehk keemilise aine maksimaalne lubatud keskmine sisaldus sissehingatavas õhus 15 minuti jooksul on 1 ppm. [3]

Valmistoodangu laos üks sein on laotud klaastelistest, ülejäänud seinad on betoonist. Ruumi kütakse hetkel kahe vesi-õhk tüüpi kaloriiferi abil. Üks kaloriifer on paigaldatud ühele suurele välisuksele õhkkardinaks (vt. Lisa 2, Foto 8). Teine kaloriifer asub hoone

vastasnurgas. Kaloriiferite küttevõimsus on madal, kuna need projekteeriti algselt 125 °C veetemperatuurile, kuid vahepeal on toimunud palju muutusi ja hetkel töötavad kaloriiferid 85 °C veel. Hinnanguliselt on kaloriiferite küttevõimsus 150 kW. Arvestades laohoone suurust, on võimsus väike.

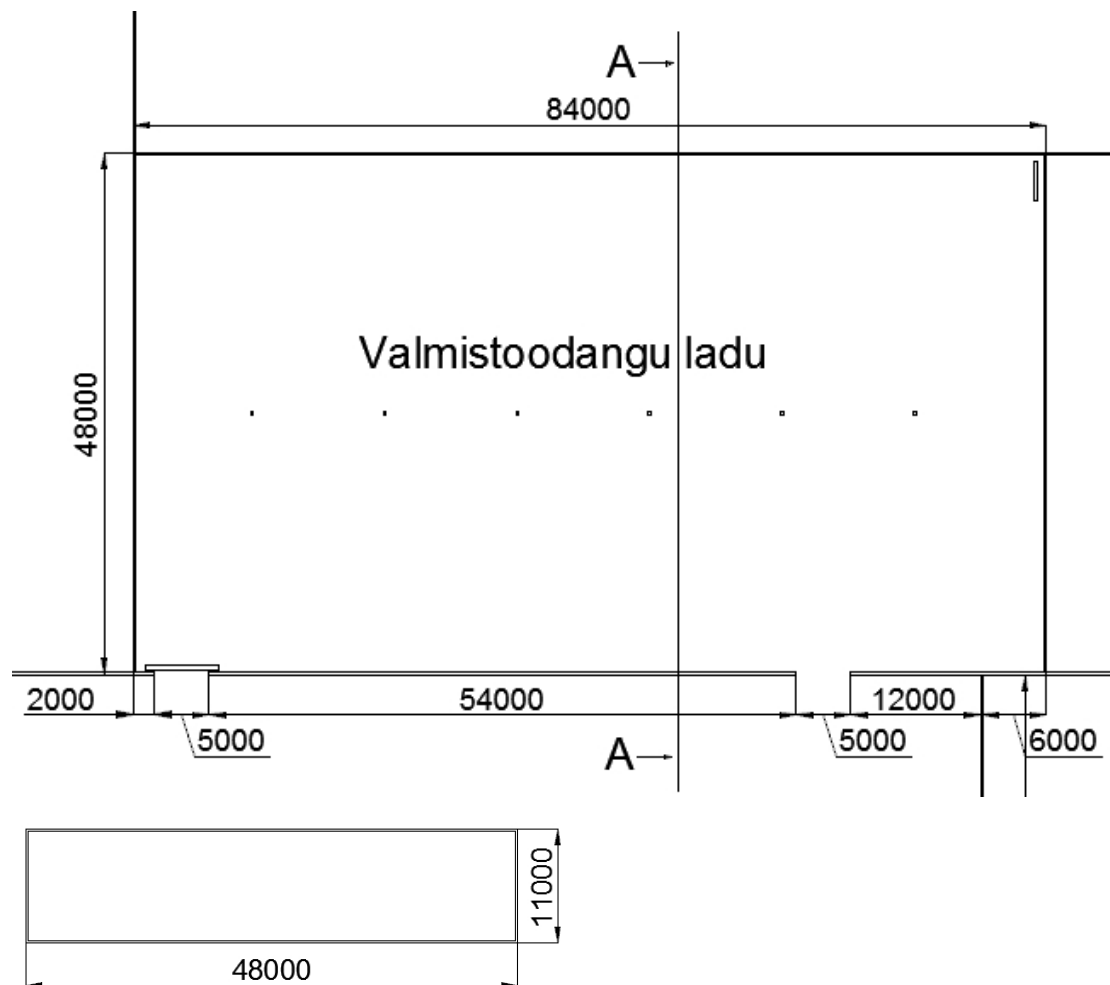
Arvutustes kasutan talvist arvutuslikku välisõhu temperatuuri, et näha olukorda talve kõige külmemal ajal. Selleks temperatuuriks on lähimates suuremates asulates Rakveres ja Jõhvis -24 °C, arvestan sama temperatuuriga enda arvutustes. Soovituslik õhuvahetuskordarv on 0,5. Soovituslik minimaalne sisetemperatuur arvestades töö liiki on 18 °C. See ei kehti aga konkreetsetes olukorras, vaid on mõeldud pigem üldkasutatavatele väiksematele ruumidele. Kuna hetkel võib väga külmade talvede korral temperatuur langeda ka alla 0 °C, on ettevõtte rahul igasuguste tulemustega.

Teadu on, et lamineerimispressi ruumist puhutakse kahe väljatõmbeventilaatoriga välja 14 000 m³/h ehk kokku

$$2 \times 14000 \frac{m^3}{h} = 28000 \frac{m^3}{h}$$

Väljapuhutava õhu temperatuur on aastaringelt 30 – 35 °C. Arvutustes kasutan keskmist:

$$t = \frac{30 + 35}{2} = 32,5^\circ\text{C}$$



Lõige A-A

Joonis 4.1.2. Laohoone plaan ja lõige

Valmistoodangu lao kohta on teada joonisele märgitud mõõdud. Leian lao ruumala:

$$V = a \cdot b \cdot h, \text{ mm}^3 \quad (4.1.1)$$

kus a – hoone pikkus, mm;

b – hoone laius, mm;

h – hoone kõrgus, mm.

$$V = 48000 \cdot 84000 \cdot 11000 = 44352000000000 \text{ mm}^3 = 44352 \text{ m}^3$$

4.2. HOONE SOOJUSKAOD

Hoone soojuskaod leian valemiga [5, lk. 40, valem 3.1]:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}, \text{ W} \quad (4.2.1)$$

kus $\Phi_{T,i}$ – köetava ruumi arvutuslik soojuskadu läbi piirdetarindite, W;

$\Phi_{V,i}$ – köetava ruumi ventilatsiooni arvutuslik soojuskadu, W.

Leian hoone soojuskaod läbi piirdetarindite. Selleks leian kõigepealt välispiirete pindalad, ehk ühel välisseina ja katuse pindala. Seejärel leian U-arvud ja saadud suurustest avaldan soojuskaod. Soojuskaod leian vaid läbi ühe seina, kuna ülejäänud kolm seina on siseseinad, mille taga asuvad köetavad ruumid. Soojusülekande teguri võtan sisepinnal võrdseks 8-ga ja välispinnal 15-ga.

Pindalade leidmiseks kasutan pindala valemit:

$$S = a \cdot b, \text{ m}^2 \quad (4.2.2)$$

kus a – pikkus, m;

b – laius, m.

Seina pindala:

$$S = 84 \cdot 11 = 924 \text{ m}^2$$

Katuse pindala:

$$S = 48 \cdot 84 = 4032 \text{ m}^2$$

Hoone välissein on laotud klaasplokkidest. U-arvude leidmiseks on vaja teada termilist takistust, mille leian valemiga [7, lk. 19, valem 3.2]:

$$R_t = R_{si} + R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n},$$

$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$

(4.2.3)

kus R_{si} – piirdetarindi termiline takistus soojusülekanal piirdetarindi sisepinnal, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$;

R_{se} – piirdetarindi termiline takistus soojusülekanal piirdetarindi välispinnal, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$;

R_1, R_2, R_3, R_n – piirdetarindi üksikute homogeensete kihtide termilised takistused (kihtide arv 1...n), $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$;

α – soojusülekanalitegur, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

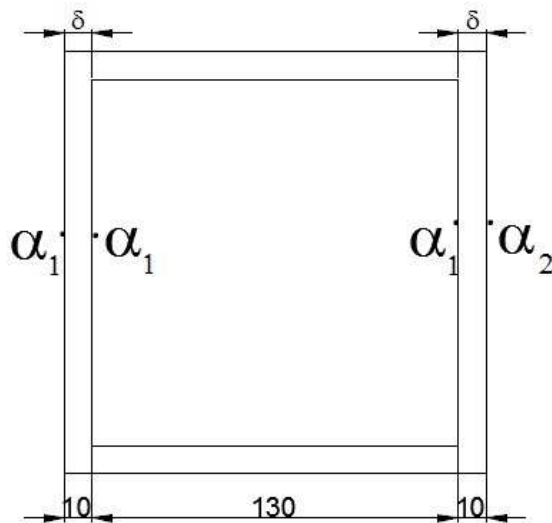
δ – materjali paksus, m;

λ – materjali soojusjuhtivus, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Võttes termilisest takistusest pöördväärtuse, saan U-arvu [7, lk. 20, valem 3.4]:

$$U_{arv} = \frac{1}{R_t}$$

(4.2.4)

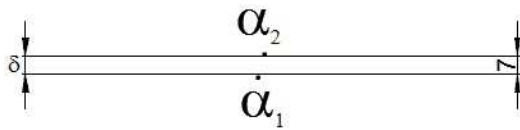


Skeem 4.2.1 Klaastellise löige

$$R_{v\ddot{a}lissein} = \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,74} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,74} + \frac{1}{15} = 0,47 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$U_{arv} = \frac{1}{0,47} = 2,13$$

Samade valemite abil leian ka katuse U-arvu:



Skeem 4.2.2 Katuse lõige

$$R_{katuse} = \frac{1}{8} + \frac{0,007}{0,35} + \frac{1}{15} = 0,21 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$U_{arv} = \frac{1}{0,21} = 4,72$$

Leitud U-arv on suur ja kui siit avaldada soojuskadu läbi katuse [2, lk. 103, valem 6.3], eeldades et sisetemperatuur on 16 °C:

$$\Phi = H \cdot (t_s - t_v), \text{ W} \quad (4.2.5)$$

kus H – erisoojuskadu, W/K;
 t_s – ruumiõhu temperatuur, °C;
 t_v – välisõhu temperatuur, °C.

Erisoojuskao leian valemiga [2, lk. 102]:

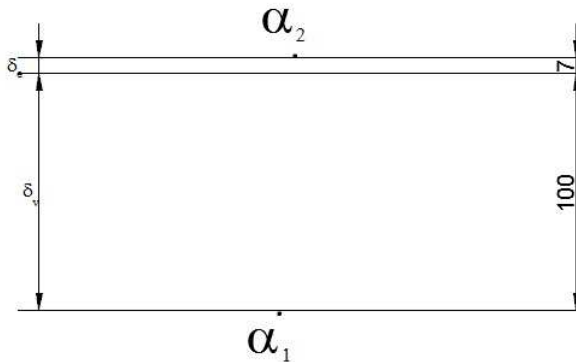
$$H = U \cdot A, \text{ W/K} \quad (4.2.6)$$

kus U – U-arv;
 A – pindala, m².

$$H = 4,72 \cdot 4032 = 19031,04 \text{ W/K}$$

$$\Phi = 19031,04 \cdot (16 - (-24)) = 761241,6 \text{ W} = 761,24 \text{ kW}$$

Näeme, et ainuüksi läbi katuse on soojuskadu väga suur, seetõttu tuleb katus soojustada. Soojustuseks valin 10cm paksuse kivivilla ja saadud tulemus on järgmine:



Skeem 4.2.3 Soojustatud katuse lõige

$$R_{\text{soojustatudkatus}} = \frac{1}{8} + \frac{0,1}{0,04} + \frac{0,007}{0,35} + \frac{1}{15} = 2,71 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$U_{\text{arv}} = \frac{1}{2,71} = 0,37$$

$$H = 0,37 \cdot 4032 = 1491,84 \text{ W/K}$$

$$\Phi = 1491,84 \cdot (16 - (-24)) = 59673,6 \text{ W} = 59,67 \text{ kW}$$

Leian välisseina soojuskao:

$$H = 2,13 \cdot 924 = 1968,12 \text{ W/K}$$

$$\Phi = 1968,12 \cdot (16 - (-24)) = 78724,8 \text{ W} = 78,72 \text{ kW}$$

Veel on vaja teada õhu soojendamisest tulenevat soojuskadu ja ventilatsiooni soojuskadusid.

Õhu soojendamise soojuskao leidmiseks leian õhu soojendamise erisoojusvõimsuse [2, lk. 103]:

$$H_{\text{õhusoojendus}} = c \cdot \rho \cdot L, \text{ W/K} \quad (4.2.7)$$

kus ρ – õhu tihedus, kg/m^3 ;
 c – õhu erisoojus, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$;
 L – õhu vooluhulk, m^3/s .

Õhu tihedus on $1,2 \text{ kg/m}^3$ ja õhu erisoojus $1005 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Leian õhu vooluhulga, teades, et hoone ruumala on 44352 m^3 ja arvestades õhuvahetuse kordarvuga 0,5:

$$0,5 \cdot 44253 = 22176 \text{ m}^3/\text{h} = 6,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{\text{õhusoojendus}} = 1005 \cdot 1,2 \cdot 6,16 = 7392,0 \text{ W/K}$$

Leian hoone arvutuslikud soojuskaod, selleks leian kõige pealt hoone erisoojuskaod kokku:

$$7392,0 + 1968,12 + 1491,84 = 10851,96 \text{ W/K}$$

Kõetava ruumi arvutuslik soojuskadu läbi piirdetarindi [2, lk. 103, valem 6.3]:

$$\Phi_{T,i} = H \cdot (t_s - t_v), \text{ W} \quad (4.2.8)$$

kus H – hoone erisoojuskaod kokku, W/K ;
 t_s – ruumiõhu arvutuslik temperatuur, $^{\circ}\text{C}$;
 t_v – arvutuslik välistemperatuur, $^{\circ}\text{C}$.

$$\Phi_{T,i} = 10851,96 \cdot (16 - (-24)) = 434078,4 \text{ W} = 434,07 \text{ kW}$$

Soojuskadude leidmiseks on vaja arvestada ka ventilatsiooni soojuskadudega [5, lk. 47, valem 3.22]:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (t_s - t_v), \text{ W} \quad (4.2.9)$$

- kus $H_{V,i}$ – ventilatsiooni arvutuslikud soojuserikaod, W/K;
 t_s – ruumiõhu arvutuslik temperatuur, °C;
 t_v – arvutuslik välistemperatuur, °C.

Ventilatsiooni arvutuslikud soojuserikaod leian valemiga [5, lk. 47, valem 3.23]:

$$H_{V,i} = L_i \cdot \rho \cdot c, \text{ W/K} \quad (4.2.10)$$

- kus L_i – arvutuslik õhuvooluhulk köetavas ruumis, m³/s;
 ρ – õhutihedus, kg/m³;
 c – õhu masserisoojus, J/(kg·K).

Arvutusliku õhuvooluhulga köetavas ruumis leian valemiga [5, lk. 47, valem 3.26]:

$$L_i = L_{inf,i} + L_{sp,i} \cdot f_{V,i} + L_{vt,meh,i}, \text{ m}^3/\text{s} \quad (4.2.11)$$

- kus $L_{inf,i}$ – ruumi infiltratsiooni õhuvooluhulk, m³/s;
 $L_{sp,i}$ – ruumi sissepuhke õhuvooluhulk, m³/s;
 $L_{vt,meh,i}$ – täiendav väljatõmbe õhuvooluhulk, m³/s;
 $f_{V,i}$ – temperatuurialandustegur.

Ruumi infiltratsiooni õhuvooluhulga leian valemiga [5, lk. 48, valem 3.28]:

$$L_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i / 3600, \text{ m}^3/\text{s} \quad (4.2.12)$$

- kus V_i – hoone maht, m³;
 n_{50} – õhuvahetuse kordarv, 1/h;
 e_i – varjutegur;
 ε_i – kõrguse parandustegur, mis arvestab tuule kiiruse suurenemisega maapinnalt kõrgemale liikudes.

Temperatuurialandusteguri leian valemiga [5, lk. 48, valem 3.27]:

$$f_{V,i} = \frac{t_{\bar{o},arv,i} - t_{sp,i}}{t_{\bar{o},arv,i} - t_{v\bar{o}}} \quad (4.2.13)$$

kus $t_{\bar{o},arv,i}$ – ruumi arvutuslik siseõhu temperatuur, °C;
 $t_{sp,i}$ – ruumi antava sissepuhkeõhu temperatuur, °C;
 $t_{v\bar{o}}$ – välisõhu temperatuur, °C.

Täiendava väljatõmbe õhuvooluhulga leian seosest [5, lk. 49, seos 3.29]:

$$L_{vt,meh} = \max(L_{vt} - L_{sp}, 0), \text{ m}^3/\text{s} \quad (4.2.14)$$

kus L_{vt} – väljatõmbeõhu vooluhulk, m³/s;
 L_{sp} – sissepuhkeõhu vooluhulk, m³/s.

On teada ka, et valmistoodangu laos asuvad väikesed seadmed (vt. Lisa 2, Foto 6 ja Foto 7), mille külge paigaldatud ventilaatorite väljapuhe on kokku 1200 m³/h. Arvestan ka planeeritava uue seadme väljapuhkega, mis on 1800 m³/h.

Kokku toimub väljapuhe:

$$1200 + 1800 = 3000 \text{ m}^3/\text{h} = 1,13 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kuna antud olukorras $1,13 < 6,16$ ehk ületab sissepuhe väljapuhke, on $L_{vt,meh}$ väärtus võrdne 0-iga.

Ruumi infiltratsiooni õhuvooluhulga leidmiseks valemiga 4.2.12 on vaja teada varjuteguri ja kõrguse parandustegurit, need leian [5 tabelid 3.8 ja 3.9].

$$L_{inf,i} = 2 \cdot 44352 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot \frac{1}{3600} = 0,37 \text{ m}^3/\text{s}$$

Järgmisena leian temperatuurialandusteguri, kasutades valemit 4.2.13:

$$f_{V,i} = \frac{16 - 15}{16 - (-24)} = 0,025$$

Leian arvutusliku õhuvooluhulga ruumis valemiga 4.2.11:

$$L_i = 0,37 + 6,16 \cdot 0,025 + 0 = 0,524 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ventilatsiooni arvutuslikud soojuserikaod on valemi 4.2.10 järgi:

$$H_{V,i} = 0,524 \cdot 1,2 \cdot 1005 = 631,94 \text{ W/K}$$

Nüüd saan leida ventilatsiooni soojuskaod, kasutades valemit 4.2.9:

$$\Phi_{V,i} = 631,94 \cdot (16 - (-24)) = 25277,6 \text{ W} = 25,28 \text{ kW}$$

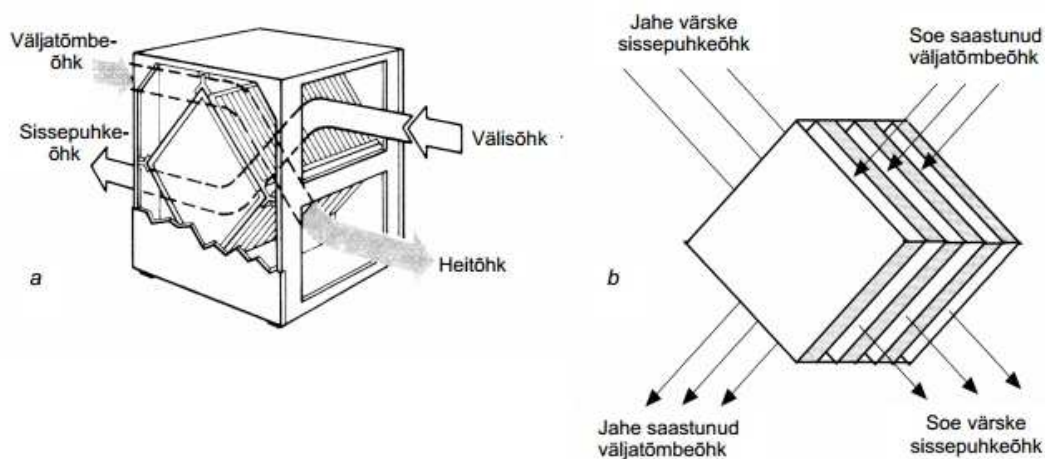
Valemi 4.2.1 abil leian köetava ruumi arvutusliku küttekoormuse:

$$\Phi_i = 434,07 + 25,28 = 459,32 \text{ kW}$$

5. ERINEVAD SOOJUSTAGASTUSSÜSTEEMID

5.1. Plaatsoojusvaheti

Plaatsoojusvaheti korral juhatakse õhuvoolud kuubikukujulisse õhukestest metall- või plastplaatidest koostatud soojusvahetisse. Õhuvoolud seejuures ei segune, vaid erinevate kanalite abil jäävad teineteisest lahutatuks. Nii ei reosta väljatõmbeõhus sisalduda võivad kahjulikud ained sissepuhkeõhku. Soe väljatõmbeõhk soojendab plaate ühelt küljelt ja need annavad soojust edasi külmale sissepuhkeõhule, mis liigub plaatide teisel küljel. [1]



Joonis 5.1.1 Plaatsoojusvaheti

Plaatsoojusvaheti eelisteks on piisav temperatuuri suhtarv (55...60 %), liikuvate osade puudumine, õhuvoolude täielik eraldatus ja lisaks ei vaja soojusvaheti töötamiseks lisaenergiat. Vaja on vaid ventilaatoreid õhu suunamiseks soojusvahetisse. Konkreetse olukorra puhul on väga tähtis, et õhuvoolud oleksid täielikult eraldatud.

Puudustest võib esile tuua raske temperatuuri suhtarvu reguleerimise, suure ruumivajaduse ja selle, et sissepuhke- ja väljatõmbeõhukanalid peavad olema lähestikku.

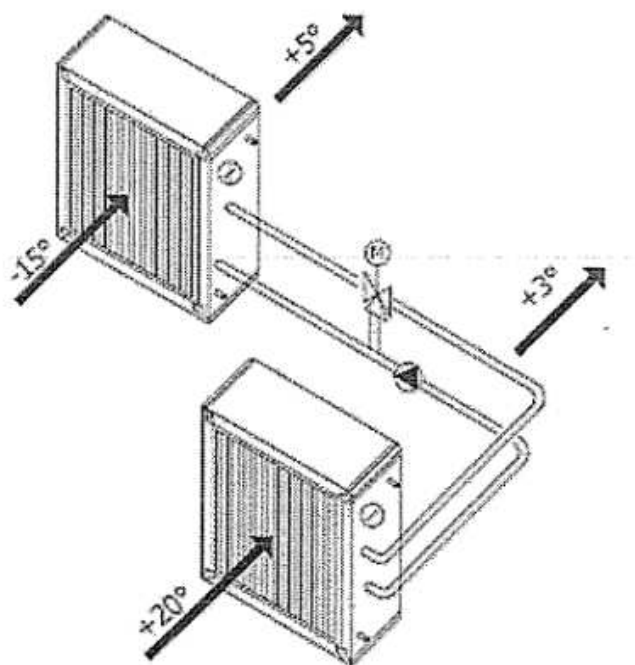
Soojusülekanne efektiivsus sõltub:

- sissepuhke- ja väljatõmbe õhuvooluhulkade ja temperatuuride suhtest,
- õhu kiirusest soojusvahetis,

- väljatõmbeõhu suhtelisest niiskusest. [2]

5.2. Vahesoojuskandjaga soojustagasti

Vahesoojuskandjaga soojustagasti koosneb sissepuhke- ja väljatõmbevoolustesse paigutatud ribi- või siletorupatareidest, millede vahel ringleb madala külmumistemperatuuriga soojuskandja, näiteks glükooli vesilahus.



Joonis 5.2.1 Vahesoojuskandjaga soojustagasti

Sellise soojustagasti põhiline eelis on, et sissepuhke- ja väljatõmbeõhukanalid ei pea olema üksteise läheduses. Seade sobib antud olukorras kasutamiseks, kuna õhuvoolud omavahel ei segune.

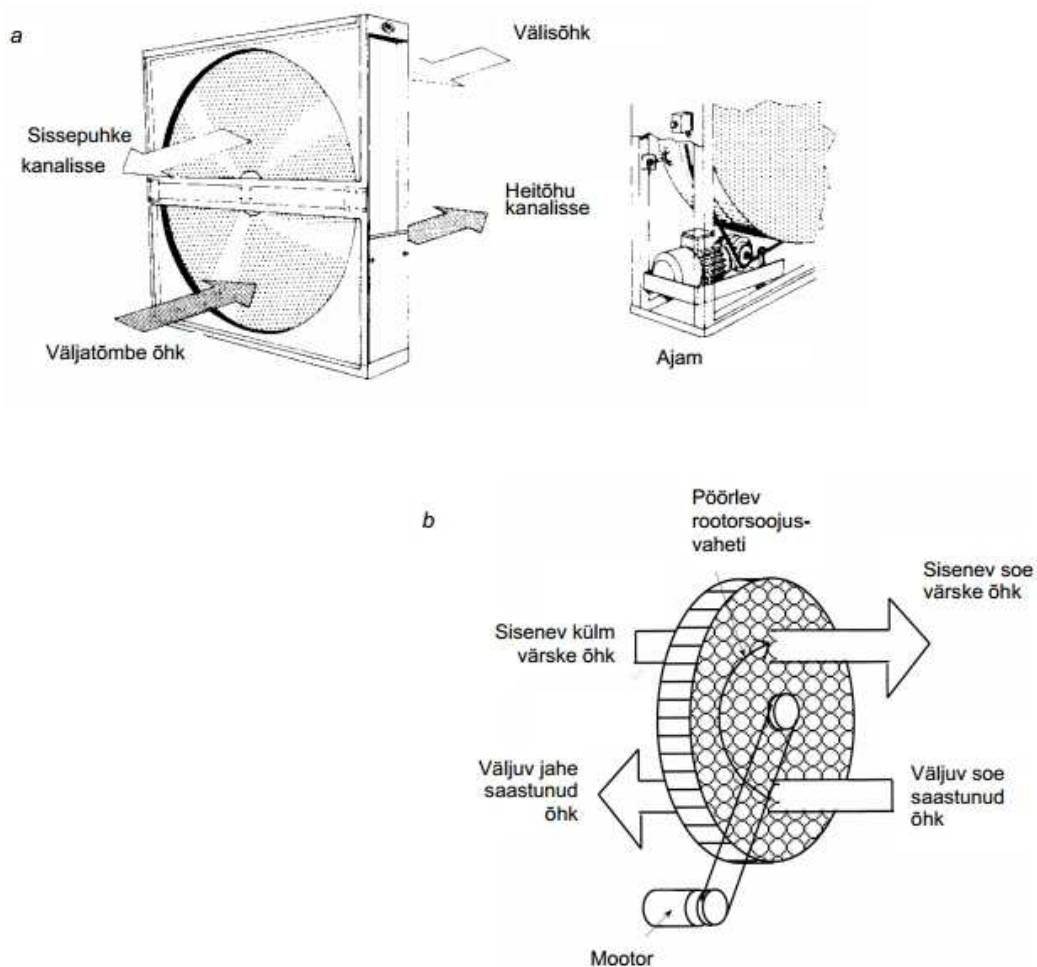
Puudused on, et seda tüüpi soojustagasti sisaldab kulvaid detaile, kallis hind ja üsna madal temperatuuri suhtarv (40...60 %).

Soojusülekanne efektiivsus sõltub:

- sissepuhke- ja väljatõmbe õhuvooluhulkade ning temperatuuride suhtest,
- õhu kiirusest soojusvahetis,
- väljatõmbeõhu suhtelisest niiskusest,
- vahesoojuskandja tsirkulatsioonist. [2]

5.3. Rootorsoojusvaheti

Rootorsoojusvaheti on kärjetaoline torukestest koosnev ratas ehk rootor, millest õhk läbi voolab. Rootor asub risti sissepuhke- ja väljatõmbetorustiku vahel nii, et sissepuhketorustikust tulev õhk läbib rootori ülemist poolt ja õhk väljatõmbetorustikust ratta alumist poolt. Väljuv õhk soojendab rootorit seda läbides. Kuna rootor pöörleb, satub rootori soe pool siseneva õhu teele andes oma soojuse sellele ära. Rootor vajab lisaenergiat ajami käitamiseks. Kui sissepuhketorustik ja väljatõmbetorustik asetsevad teineteisest eemal, nagu vaadeldavas olukorras, tuleb tagastusõhus sisalduva soojuse ärakasutamiseks kasutada vahesoojuskandjat. Selleks tuleb väljatõmbetorustikku paigaldada kaloriifer, mille spiraalses ribistatud torus olevad soojuskandjat soojendab väljuv õhk. Soojuskandja pumbatakse seejärel kaloriiferi sissepuhketorustikus asuvasse ossa, kus ta soojendab sisenevat õhku. [1]



Joonis 5.3.1 Rotorsoojusvaheti

Rotorsoojusvaheti eelised on kõrge temperatuuri suhtarv (70...85 %), mõõdukas rõhukadu ja samuti nõuab see vähe ruumi.

Soojuslähikanne sõltub:

- sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkadest ja temperatuuridest,
- õhu kiirusest soojustagastis,
- väljatõmbeõhu suhtelisest niiskusest. [2]

Kuna õhuvoolusid ei ole võimalik teineteisest täielikult eristada ja seetõttu satuksid ohtlikud ained sissepuhkeõhku, ei sobi rootorsoojusvaheti kasutamiseks konkreetses olukorras.

6. TULEMUSED

6.1 Soojusvaheti valik

Kuna antud olukorras on oluline, et õhuvoolud jääksid teineteisest täielikult eraldatuks, sobib kasutamiseks plaatsoojusvaheti. Plaatsoojusvaheti kasutegur jääb üldjuhul piiridesse 55...70 %, olenevalt peamiselt temperatuuride erinevusest, õhuvoolude kiirustest ja kasutatavatest materjalidest. Plaatsoojusvaheti paigaldamisel on mitu võimalust, paigaldada üks suur, või mitu väiksemat. Konstruktsiooni lihtsustamiseks on kasulik paigaldada üks suur.

Lisaks on vaja paigaldada ka sissepuhkeventilaator tootlikkusega vähemalt 22176 m³/h, et tagada õhuvahetuskordarv 0,5 ja puhkuda laohoonesse soojusvahetist saadav soojus. Täiendavaid väljapuhkeventilaatoreid esialgu ei paigaldata, kuna laohoones on hetkel loomulik ventilatsioon ja lisaks on uksi vaja aeg-ajalt avada. Samuti on laohoones olevatel seadmetel väljapuhkeventilaatorid. Seeläbi toimub piisav õhuvahetus. Ruum on väga suur, seetõttu tuleks hajutada sissepuhet, et ühtlustada ruumi temperatuuri ja alandada õhu liikumise kiiruseid. Kuna laohoone uksi peab kauba laadimiseks avama, on sooja hoidmiseks vaja kasutada õhkkardinaid. Ühel välisuksel on vesi-õhk tüüpi kaloriiferiga lahendatud õhkkardin. Üks uus sissepuhe tuleks paigaldada teisele suurele välisuksele õhkkardinaks. Teised väiksemad sissepuhkeavad võiks paigaldada ruumi keskele. Seda on lihtne teha, kuna hoone keskel on 12 meetriste vahedega tugipostid, mööda mida saaks vedada ventilatsioonitorusid ja sissepuhkeavasid (vt. Graafiline osa).

6.2. Arvutused tulemuste kohta

Leian õhu soojendamise koormuse [6]:

$$\Phi_{\text{os}} = L \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t, \text{ W} \quad (6.2.1)$$

kus L – õhuvool, m³/s;

ρ – õhu tihedus, kg/m³;

c – õhu erisoojus, J/(kg·K);

Δt – temperatuuride muut õhu soojendamisel, °C.

$$\Phi_{\text{öS}} = L \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t = 6,16 \cdot 1,2 \cdot 1005 \cdot (16 - (-24)) = 297158,4 \text{ W} = 297,16 \text{ kW}$$

Lisaks soojusvaheti saadava õhu soojendamise koormusele saan leida ka ligikaudse soojusvahetuspinna suuruse ja seeläbi ka soojusvaheti suuruse.

Soojusvahetuspinna suuruse avaldan soojuslähikandevõime võrrandist [9, valem 7.2]:

$$\Phi_{\text{öS}} = F \cdot k \cdot \Delta t, \text{ W} \quad (6.2.2)$$

kus F – soojusvahetuspind, m^2 ;
 k – soojuslähikandetegur, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
 Δt – keskmine temperatuuride vahe, $^{\circ}\text{C}$.

Saan soojusvahetuspinna suuruse leidmiseks valemi:

$$F = \frac{\Phi_{\text{öS}}}{k \cdot \Delta t}, \text{ m}^2 \quad (6.2.3)$$

kus $\Phi_{\text{öS}}$ – soojuslähikanne, W;
 k – soojuslähikandetegur, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
 Δt – keskmine temperatuuride vahe, $^{\circ}\text{C}$.

Soojuslähikandeteguri leian [8, lk 82], selle väärtuseks võtan $60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

$$F = \frac{297158,4}{60 \cdot (16 - (-24))} = 123,8 \text{ m}^2$$

Saan leida ka ligikaudse soojusvaheti suuruse. Arvestades, et plaadid on ruudu kujulised, mille külje pikkus on 1,1 m, võtan plaatide vaheks 1 cm ehk 0,01 m.

Plaadi pindalaks tuleb sellisel juhul

$$1,1 \cdot 1,1 = 1,21 \text{ m}^2$$

Kuna tean, et kokku peab olema soojusvahetuspind $123,8 \text{ m}^2$, leian plaatide arvu:

$$\frac{123,8}{1,21} + 1 = 103$$

Plaatide vahe ja plaatide arvu järgi leian soojusvaheti laiuse:

$$103 \cdot 0,01 = 1,03 \text{ m}$$

Kuna on teada, et olemasolevad kaloriiferid on küttevõimsusega 150 kW , leian kogu küttevõimsuse:

$$150 + 297,16 = 447,16 \text{ kW}$$

Valemi 6.2.1 abil leitud kogu arvutuslik küttekoormus on $459,32 \text{ kW}$. Seega on küttevõimsuse puudujääk tipphetkel:

$$459,32 - 447,16 = 12,16 \text{ kW}$$

Siit järeldub, et kui välistemperatuur on $-24 \text{ }^\circ\text{C}$, ei suudeta tagada sisetemperatuuri $16 \text{ }^\circ\text{C}$. Kuna nii madal temperatuur on aastas vaid paar nädalat, on saavutatav võit ikkagi suur ja projekt tasub ära. Samuti pole antud olukorras mõistlik lisada täiendavaid kütteseadmeid, kuna need nõuaks lisainvesteeringut ja saavutatav efekt oleks minimaalne.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös on uuritud jääsoojuse kasutamise võimalust kütteks AS Repo Vabrikud näitel. Uuritud on võimalust kütta laohoonet jääsoojuse abil, mis saadakse tootmishoonest. Seda on võimalik teha soojusvaheti abil. Tulemuste põhjal võib teha järgmised järeldused:

1. Seade leiab kasutust talveperioodil, kui on probleeme lahoones temperatuuri hoidmisega, hetkel võib temperatuur langeda ka alla 0 °C.
2. Kuna tootmishoone õhk on mürgine, on kriitiline, et kasutatakse sellist tüüpi soojusvahetit, kus sissepuhke- ja väljapuhkeõhk ei seguneks. Kõige paremini sobib seda silmas pidades plaatsoojusvaheti.
3. Plaatsoojusvaheti tuleb ilmselt valmistada eritellimusel või tellida välismaalt, kuna antud olukorras on tegu väga suurte õhukogustega ja soojusvaheti mõõtmed on suuremad, kui eramajades ja kontorihoonetes kasutatavatel soojustagastusseadmetel.
4. Valmistoodangu ladu on soojustamata ning arvutuslikud soojuskadod on väga suured. Seetõttu tuleks hoone lagi kindlasti soojustada, kuna arvutuslik soojuskadu ainuüksi läbi lae oleks muidu üle 700 kW.
5. -24 °C välistemperatuuri korral jääb soojusvõimsuse puudujäägiks 12 kW, see on küll arvestatav suurus, kuid lisaseadmeid ei ole mõtet paigaldada, kuna need nõuavad lisainvesteeringut ja -24 °C välistemperatuur on aastas maksimaalselt vaid paar nädalat.

Töö eesmärgiks oli uurida, kas tootmishoone jääsoojust on võimalik ära kasutada laohoone kütteks. Seda on võimalik edukalt teha, kui soojustada laohoone lagi. Jättes lae soojustamata, on soojuskadod suured ja saadav kasu on väiksem.

Soojustagastusseadme paigaldamine tasub ära igal juhul, kuna hetkel välja lastav soojus on võimalik ära kasutada kütteks, parandades seeläbi oluliselt töötajate tingimusi talveperioodil.

SUMMARY

AS Repo Vabrikud is a company producing chipboards. There are problems with temperature in the warehouse in wintertime, when the outside temperature is very low. There is a lot of waste heat coming from the production building. In this work I investigated the possibility of using waste heat for heating. This can be done using a heat exchanger. The following conclusions can be made based on the results:

1. Since the air from production room is toxic, it is critical to use a type of heat exchanger, where the air does not mix. Best solution is to use a plate heat exchanger. Since the plate heat exchanger dimensions are much bigger than the ones that are used in private houses and office building, the heat exchanger probably has to be custom made.
2. Since the heat losses from warehouse are high when the warehouse is not insulated, it is needed to insulate at least the ceiling of the building, because the heat losses from the ceiling are the biggest. When the building is not insulated, the heat losses through the ceiling alone would exceed 700 kW.
3. When the outside temperature is $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$, there is a deficit of 12 kW heat, this is indeed a considerable size, but it makes no sense to install extra heaters, because they require additional investment, and the outside temperature is $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ only up to a few weeks in a year.

The aim of the study was to evaluate whether the waste heat can be utilized for heating the warehouse. This can be done successfully when the ceiling would be insulated. Leaving the ceiling uninsulated, heat losses are high and the benefits are smaller.

The installation of the plate heat exchanger pays off in any case, since the waste heat can be utilized for heating, and thereby workers' conditions are improved during the wintertime.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. F. Angelstok. Ventilatsiooni alused. Tallinn, 2006;
2. Hoone energiaaudiitorite koolitus. Köide I. Tallinn, 2008;
3. Töökeskkonna keemiliste ohutegurite piirnormid. [WWW]
<https://www.riigiteataja.ee/akt/73153> (22.04.2014);
4. E. Abel, H. Voll. Hoonete energiatarve ja sisekliima. Tallinn, OÜ Presshouse, 2007;
5. T.-A. Kõiv, A. Rant. Hoonete küte. Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2012;
6. Ventsüsteemide kasutegurid [WWW] <http://www.kvj.ee/ventsysteemide-kasutegurid>
(05.05.2014);
7. K. Ingermann. Soojusvarustussüsteemid. Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2003;
8. Soojusvahetid [WWW]
https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/14._Soojusvahetid.pdf (07.05.2014);
9. Soojusvahetid [WWW]
<http://data.vk.edu.ee/RDPR/RDPR31/Soojustehnika%20loengud/Loeng%2014%20Soojusvahetid.pdf> (12.05.2014).

LISAD

Lisa 1. Ettevõtte struktuuriplaan

Lisa 2. Fotod

LISA 1

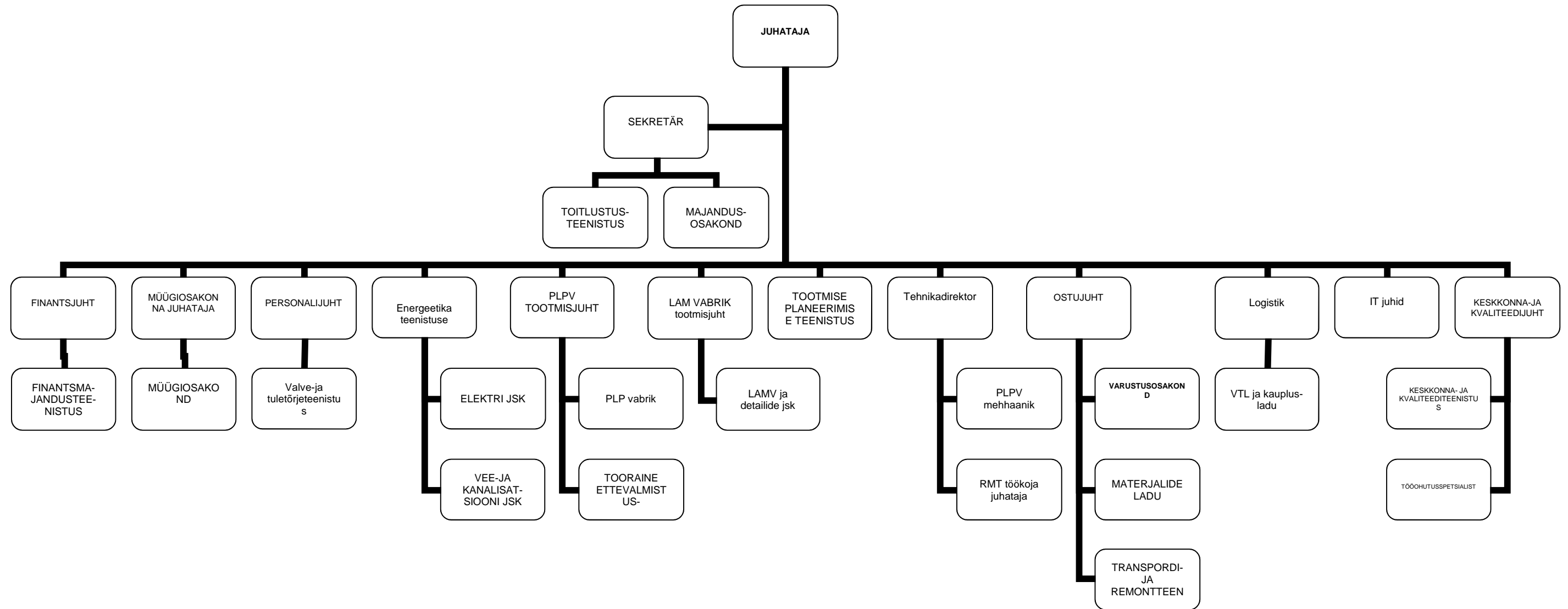




Foto 1. Katel



Foto 2. Katel



Foto 3. Väljapuhkeventilaatorid



Foto 4. Valmistoodangu ladu



Foto 5. Valmistoodangu ladu



Foto 6. Lisaseadmed laos

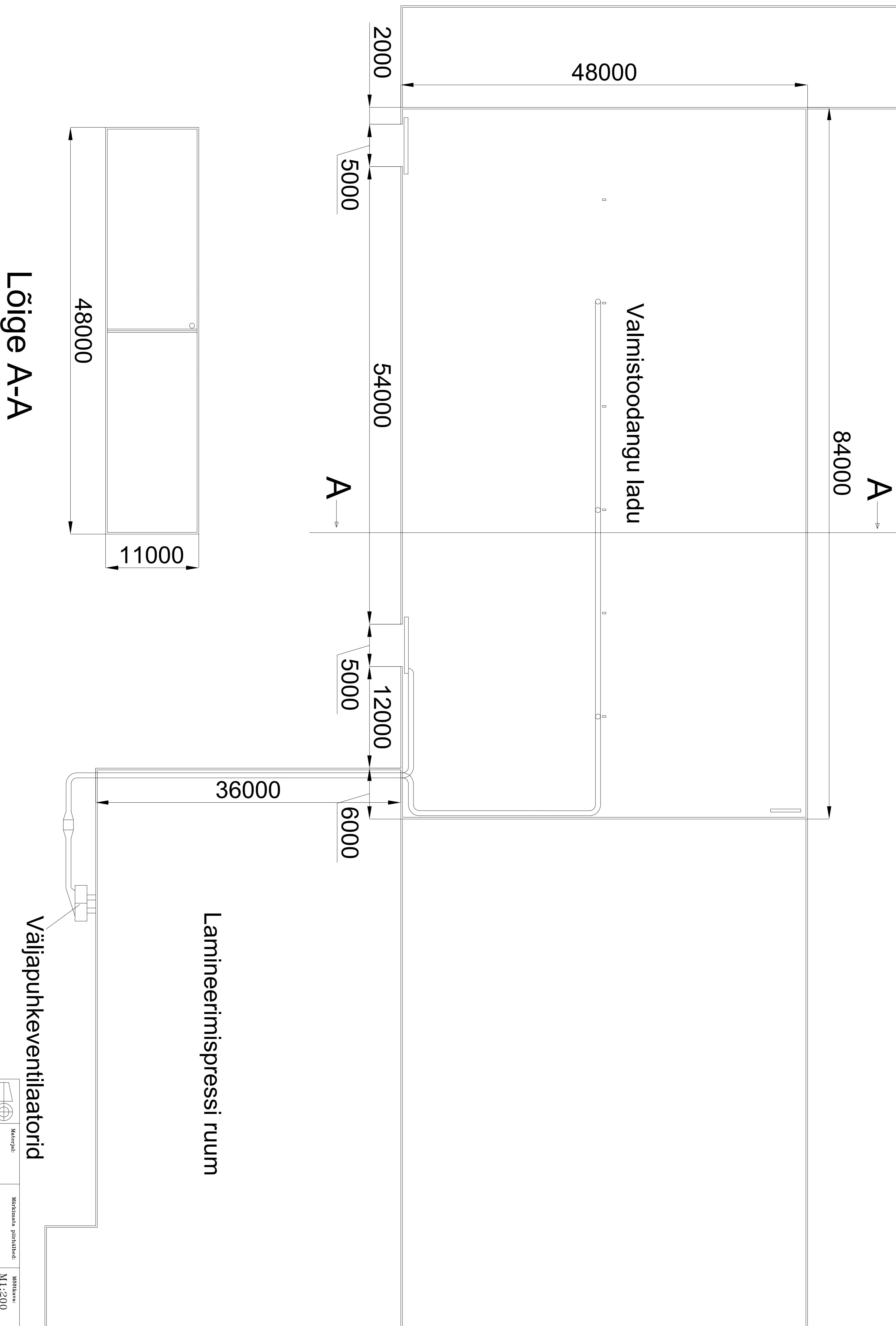


Foto 7. Lisaseadmed laos



Foto 8. Olemasolev õhkkardin

GRAAFILINE OSA

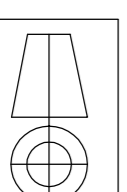


Lõige A-A

Lamineerimispressi ruum

Valmistoodangu ladu

Väljapuhkeventilaatorid



Materjal:

Mehaanika pihvilihbed:

Mõõtkava: M1:200

VALMISPROJEKTI
JOOINIS

Koostaja: Siiri Kaaskema

Joonis 1/1