

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Būvniecības fakultāte
Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas institūts

Gaļina STANKEVIČA
Doktora studiju programmas „Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģija” doktorants

**TELPU KLIMATA IESPAIDS UZ ENERGOEFEKTIVITĀTI UN
PRODUKTIVITĀTI BIROJU ĒKĀS**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr. habil. sc. ing., profesors
A.KRĒSLIŅŠ

RTU Izdevniecība
Rīga 2014

UDK 697.1(043.2)
St 117 t

Stankeviča G. Telpu klimata iespaids uz energoefektivitāti un produktivitāti biroju ēkās. Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU Izdevniecība, 2014.-21 lpp.

Iespiests saskaņā ar SGŪT institūta 2014. gada 29. maija lēmumu, protokols Nr. 5

ISBN 978-9934-10-574-6

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2014. g. 20. jūnijā, plkst. 15:00, Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības fakultātē, Āzenes ielā 16/20, 250. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Dr.sc.ing. Anatolijs Borodiņecs
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr.sc.ing. Gaļina Kaškarova
Fizikālās enerģētikas institūts

Dr.habil.sc.ing. Uldis Iljins
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Gaļina Stankeviča(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 38 zīmējumus un ilustrācijas, kopā 91 lappuses. Literatūras sarakstā ir 83 nosaukumi.

SATURA RĀDĪTĀJS

IEVADS.....	4
1. PRODUKTIVITĀTES UN ENERĢIJAS PATĒRIŅA PĒTĪJUMU APSKATS	5
2. METEROLOĢISKO DATU APSTRĀDE	6
3. ENERĢIJAS PATĒRIŅA APRĒĶINI	8
4. DARBA PRODUKTIVITĀTES MATRICA.....	9
5. EKONOMISKIE APRĒĶINI.....	10
SECINĀJUMI.....	20
PUBLIKĀCIJU SARAKSTS	21

IEVADS

Strādājošie pavada ap 25% sava laika darbā, no kuriem daudziem darbavieta ir biroja ēkas. Tāpēc ir svarīgi nodrošināt veselīgu, komfortablu un produktīvu darba vidi, kuru lielākā daļa ēkas iemītnieku uzskatīs par patīkamu un stimulējošu tur uzturēties un strādāt. Gaisa apstrādes iekārtas siltuma un aukstuma avotu izvēle ir viens no nozīmīgākajiem faktoriem, kas nosaka telpā uzturētos gaisa parametrus. Projektēšanas praksē, izvēloties siltuma un aukstuma avotus, parasti netiek ņemta vērā produktīva telpu klimata nodrošināšana. Tas noved pie ekonomiski nepamatotu jaudu izvēles.

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt metodoloģiju telpu klimata un enerģijas patēriņa kompleksai, ekonomiski pamatotai izvērtēšanai pēc maksimālās peļņas.

Promocijas darba mērķa sasniegšanai tika izvirzīti sekojoši **uzdevumi**:

- 1) Piedāvāt klimatoloģisko datu apstrādes metodiku telpu klimata un enerģijas patēriņa aprēķinam;
- 2) Izstrādāt matemātisko modeli enerģijas patēriņa aprēķinam atkarībā no āra gaisa parametriem (temperatūras un relatīvā mitruma), vēja ātruma, mākoņu daudzuma un saules radiācijas;
- 3) Izstrādāt matemātisko modeli produktivitātei atkarībā no telpas gaisa parametriem (temperatūras un relatīvā mitruma);
- 4) Optimizēt gaisa apstrādes iekārtas siltuma un aukstuma avotu jaudas izvēli, kā arī norobežojošo konstrukciju izvēli pēc maksimālās peļņas.

Zinātniskā novitāte: metodoloģija optimālās siltuma un aukstuma jaudas izvēlei pēc maksimālās peļņas.

Praktiskais pielietojums:

- 1) Rekomendācijas projektētājiem, izvēloties gaisa apstrādes iekārtas siltuma un aukstuma jaudas, norobežojošo konstrukciju elementus, piem., logu laukumu, kā arī novērtējot saules radiācijas ietekmi uz siltuma bilanci telpā, ņemot vērā ēkas orientāciju pēc debespusēm;
- 2) Izstrādātais Excel rīks ir piemērots telpu klimata iespaida uz energoefektivitāti un produktivitāti biroju ēkās pētīšanai.

Pētījumus šajā nozarē veica arī sekojoši zinātnieki: Anatolijs Borodiņecs, Joe Huang, Uldis Iljins, Gaļina Kaškarova, Andris Krēsliņš, Anna Ramata, Olli Seppänen, Pēteris Šipkovs, Pawel Wargocki, David Peter Wyon, Qingyuan Zhang u.c.

1.PRODUKTIVITĀTES UN ENERĢIJAS PATĒRIŅA PĒTĪJUMU APSKATS

Ir vairāki faktori, kas ietekmē darba produktivitāti, ieskaitot sociālo vidi, organizācijas struktūru, telpu vidi un cilvēka personiskās īpašības. Zinātniskie pētījumi liecina, ka telpu vide ir noteicošais faktors, kas ietekmē darba produktivitāti attiecībā uz darba neapmierinātību un stresu. Gaisa temperatūra ir viens no svarīgākajiem telpas vides faktoriem, kas ietekmē darbinieku produktivitāti. Neskatoties uz to, ka temperatūras diapazons no 20 līdz 24°C atbilst optimālās produktivitātes nodrošināšanai, tas ne vienmēr sakrīt ar vērtībām, kas noteiktas standartos komfortablas telpu vides nodrošināšanai. Piemēram, Eiropas standarts EN 15251 iesaka telpu temperatūru 20°C un 25.5°C, resp. ziemas un vasaras sezonām.

Gaisa mitrināšanas vai sausināšanas iekārtu uzstādīšana ēkās, kuras galvenokārt paredzētas cilvēku uzturēšanās nevis rūpnieciskajām vajadzībām, nenotiek pārāk bieži. Ēku īpašnieki izvairās no šādu iekārtu uzstādīšanas nepietiekami spēcīgu komforta ieguvumu dēļ pretstatā augstām enerģijas izmaksām. Gaisa sausināšana ir nepieciešama ne tikai komforta un veselības apsvērumu dēļ, bet arī, lai izvairītos no augsta relatīvā mitruma negatīvās ietekmes uz apkures, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas (AVGK) sistēmu darbību, ēkas norobežojošo konstrukciju integritāti, mēbelēm un iekārtām. Biroja ēku iemītnieki bieži sūdzas par gaisa kvalitāti telpās, t.sk. par sausu gaisu (ap 45% neapmierināto). Sausais gaiss arī tieši ietekmē darba produktivitāti, jo zema relatīvā mitruma ietekmē acis sāk biežāk mirgot. Tas ir īpaši izteikts, veicot vizuālo darbu, piem., strādājot pie datora. Kas attiecas uz paaugstināta

mitruma ietekmi uz veselību un komfortu, acu gļotādas kairināšana ir īpaši izteikta parādība ar mitrumu bojātās ēkās. Turklāt paaugstināts relatīvā mitruma līmenis sekmē vīrusu izplatīšanos, palielinot varbūtību saslimt ar elpceļu vīrusu infekcijām.

Vairāki zinātniskie pētījumi tika veikti, lai kvantitatīvi izteiktu enerģijas izmaksas atkarībā no telpā uzturētā klimata. Tomēr šie pētījumi galvenokārt aprobežojas ar vienkāršiem aprēķiniem, piemēram, gada apkures un dzesēšanas enerģijas patēriņa aprēķinos tiek bieži izmantotas vidējās gaisa temperatūras. Biroja ēkām sarežģītākas aprēķina metodes ir jāizmanto, ieskaitot āra gaisa temperatūras un relatīvā mitruma biežumus, jo ēkās ir jāuztur ne tikai noteikta gaisa temperatūra, bet arī mitrums.

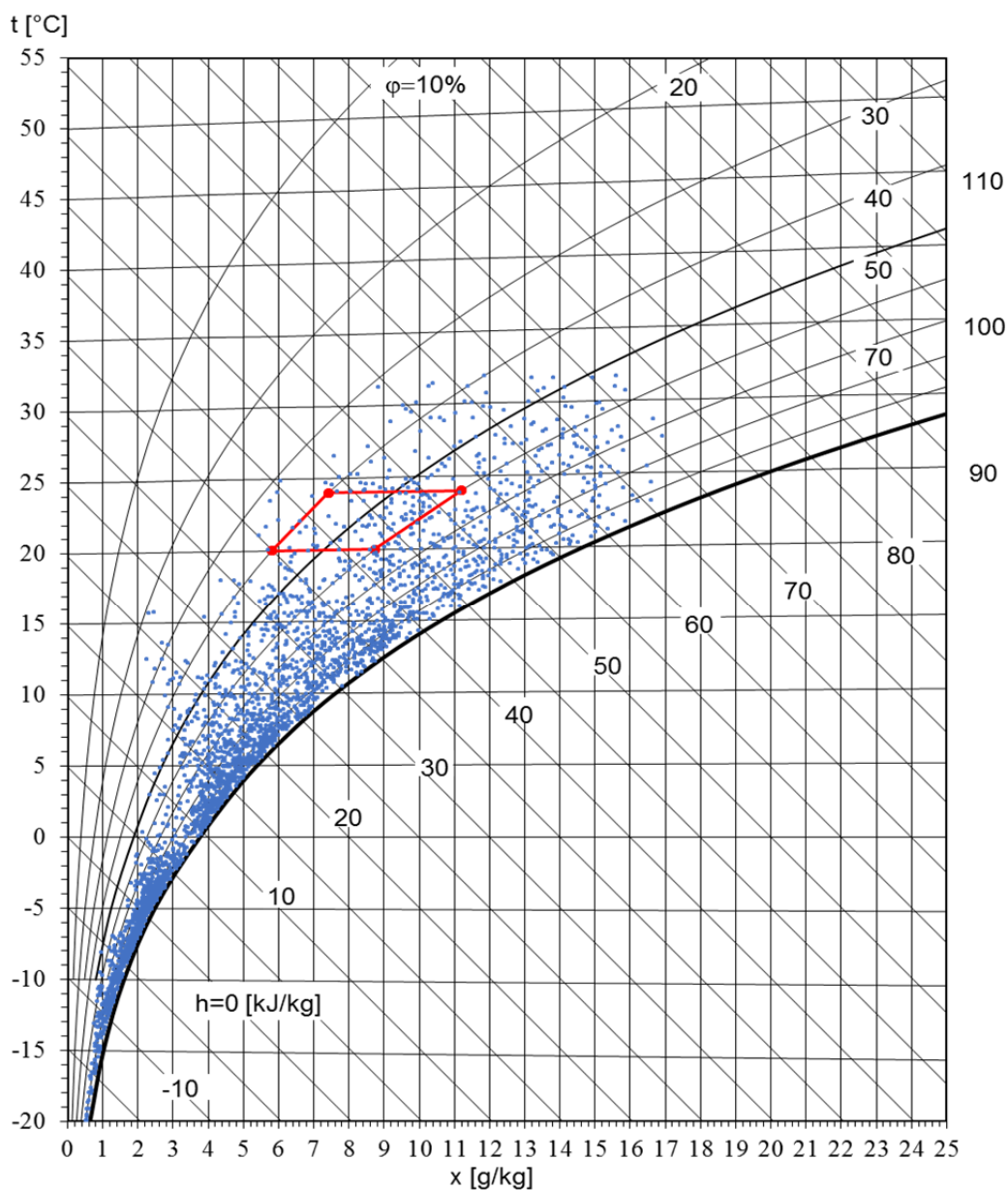
2.METEROLOĢISKO DATU APSTRĀDE

Āra klimata dati (gaisa temperatūra, relatīvais mitrums, vēja ātrums un mākoņu daudzums) Rīgai par 2010. gadu tika iegūti no Raivja Paula maģistra darba, kurš apkopoja 10 gadu datus (no 2001. līdz 2010. gadam), iegūtus no Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra. Sākotnējie dati bija pieejami kā trīs stundu vidējās vērtības. Lai veiktu enerģijas un telpu klimata aprēķinus ir nepieciešami stundas dati par āra gaisa parametriem, un tādēļ nolēmām izmantot vienu un to pašu vidējo vērtību visām trīs stundām. Microsoft Office pakete Excel tika izmantota, lai statistiski apstrādātu āra gaisa parametrus.

2010. gada garumā āra gaisa temperatūra svārstījās no -23.1 līdz 31.9°C, un relatīvais mitrums bija no 21 līdz 99%. Āra gaisa temperatūras un relatīvā mitruma stundu vērtības attēlojām arī Moljē diagrammā (sk. 2.1. att.).

2.1. att. iezīmētais četrstūrveidīgs laukums atbilst optimālai darba produktivitātes zonai, kas norobežota ar telpu temperatūru no 20-24°C un relatīvo mitrumu no 40-60%. Lielāko daļu laika (97% jeb 8643 h) āra gaisa temperatūra un relatīvais mitrums ir ārpus optimālās produktivitātes zonas, norādot uz nepieciešamību gaisu kondicionēt gandrīz visa gada garumā.

Lai aprēķinātu vidējās globālā saules starojuma vērtības uz horizontālu virsmu Rīgā (56.967 ģeogrāfiskā platuma un 24.050 ģeogrāfiskā garuma grādos), tika izmantots „Zhang-Huang” modelis.



2.1. att. Āra gaisa temperatūra un relatīvais mitrums Moljē diagrammā

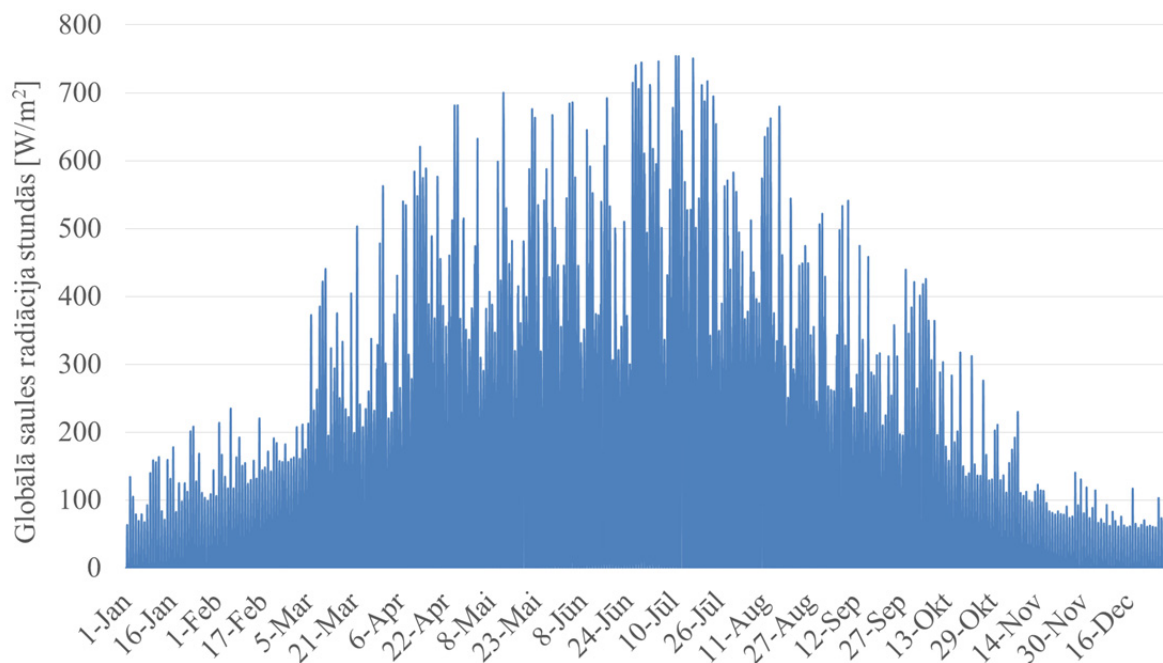
Saules starojumu aprēķinājām, izmantojot vienādojumu (2.1):

$$\begin{aligned}
 I &= I_0 \cdot 3600 \cdot \sin\alpha \\
 &\cdot c_0 + c_1 CC + c_2 CC^2 + c_3 t_n - t_{n-3} + c_4\phi + c_5v \\
 &+ d/k \\
 &\text{kad } I > 0 \\
 I &= 0 \text{ kad } I < 0,
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

kur: I – globālā saules radiācija uz horizontālo virsmu, W/m^2 ;
 I_0 – saules konstante, 1355 W/m^2 ;
 $\sin\alpha$ – sinuss saules augstuma leņķim;

CC – mākoņu daudzums, desmitdaļās;
 t_n un t_{n-3} – temperatūra stundā n un $n-3$, °C;
 φ – relatīvais mitrums, %;
 v – vēja ātrums, m/s;
 $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, d, k$ – regresijas koeficienti.

Aprēķinātā saules radiācija 2010. gadam uz horizontālo virsmu ir attēlota 2.2. att.



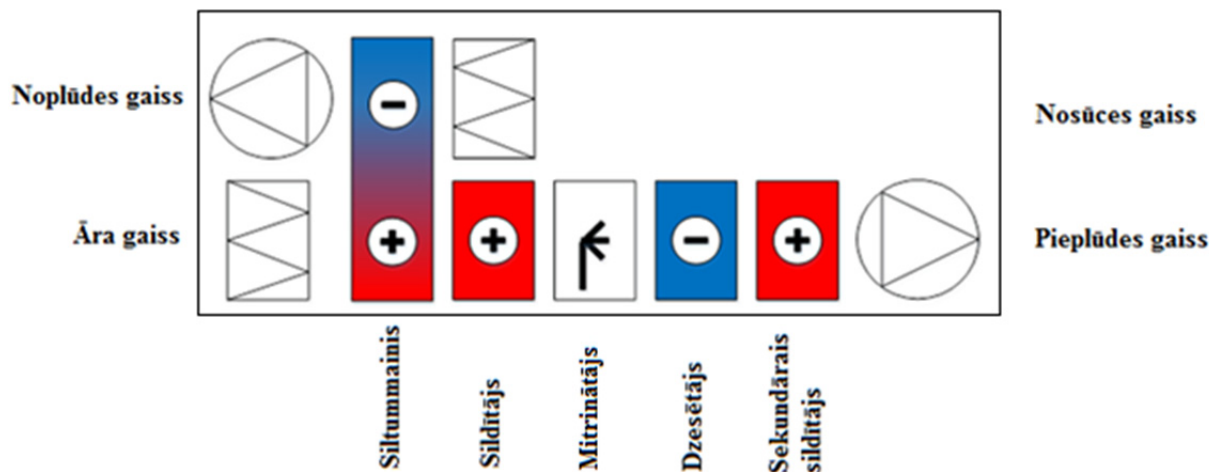
2.2. att. Globālā saules radiācija stundās uz horizontālo virsmu

Visaugstākās saules starojuma vērtības tika aprēķinātas vasaras mēnešos, t.i. no jūnija līdz augustam, ar maksimumu (750 W/m^2) 12. jūlijā. Ziemas mēnešos saules starojums uz horizontālo virsmu reti kad pārsniedza 200 W/m^2 .

3. ENERĢIJAS PATĒRIŅA APRĒĶINI

Telpu klimats ir galvenokārt atkarīgs no mijiedarbības starp ēkas norobežojošām konstrukcijām, aktivitātes telpās un āra klimata. Visi dotie faktori attiecīgi tad arī nosaka enerģijas patēriņu ēkās. Siltuma slodze ir visu šo parametru apvienojums, kas nosaka siltuma deficītu vai pārpalikumu telpās. Novirzes no vēlamā telpu klimata tiek kompensētas ar AVGK sistēmām.

Gaisa apstrādes iekārtas shēma, ko izvēlējamies gaisa apstrādes procesu realizēšanai dotā darba ietvaros ir parādīta 3.1. att.

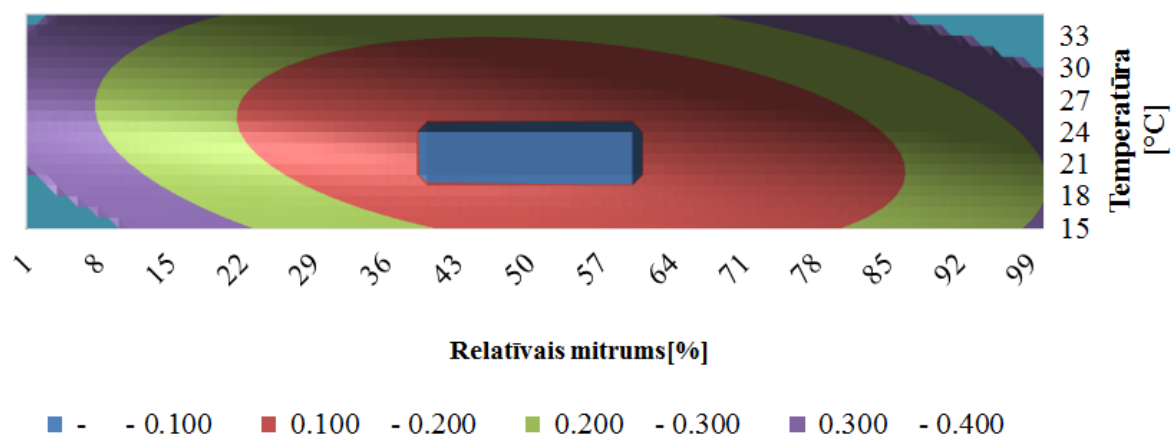


3.1. att. Gaisa apstrādes iekārtas shēma

Gaisa apstrādes iekārtai ir reģeneratīvais siltummainis, sildītājs, ūdens mitrinātājs, dzesētājs un sekundārais sildītājs. Dotā gaisa apstrādes iekārtas konfigurācija dod iespēju visa gada garumā telpās uzturēt noteiktu gaisa temperatūru un mitrumu.

4.DARBA PRODUKTIVITĀTES MATRICA

Vairumā pētījumu par darbinieku produktivitāti tika pētīta atsevišķu parametru ietekme, piem., tikai temperatūras ietekme. Reālā darba apstākļos ir svarīga vairāku faktoru kopējā ietekme, piem., temperatūras un relatīvā mitruma kopīgā ietekme. Telpu temperatūras ietekme uz darbinieku produktivitāti ir labi aprakstīta literatūrā, bet ļoti maz informācijas ir pieejamas par mitruma ietekmi uz darba produktivitāti biroja ēkās. Vēl mazāk informācijas ir pieejamas par kopīgo temperatūras un relatīvā mitruma ietekmi uz darba produktivitāti. Tā kā dati par biroja ēkām ir ļoti ierobežoti, nolēmām izmantot „Koehn-Brown” modeli, kas izstrādāts, lai pētītu āra klimata ietekmi uz darbinieku veikspēju būvniecības nozarē. Tā kā pastāv atšķirības starp telpu un āra vidi, kā arī veicamo darbu, proti, būvniecības un biroja darbs, datus, kas iegūti ar „Koehn-Brown” modeli, statistiski salīdzinājām ar zinātniskā literatūrā pieejamajiem datiem par biroja ēkām. Darba produktivitātes zudumi, kā funkcija no telpu temperatūras un relatīvā mitruma, aprēķināti ar „Koehn-Brown” modeli, ko pielāgojām biroja ēkām, ir attēloti 4.1. att.

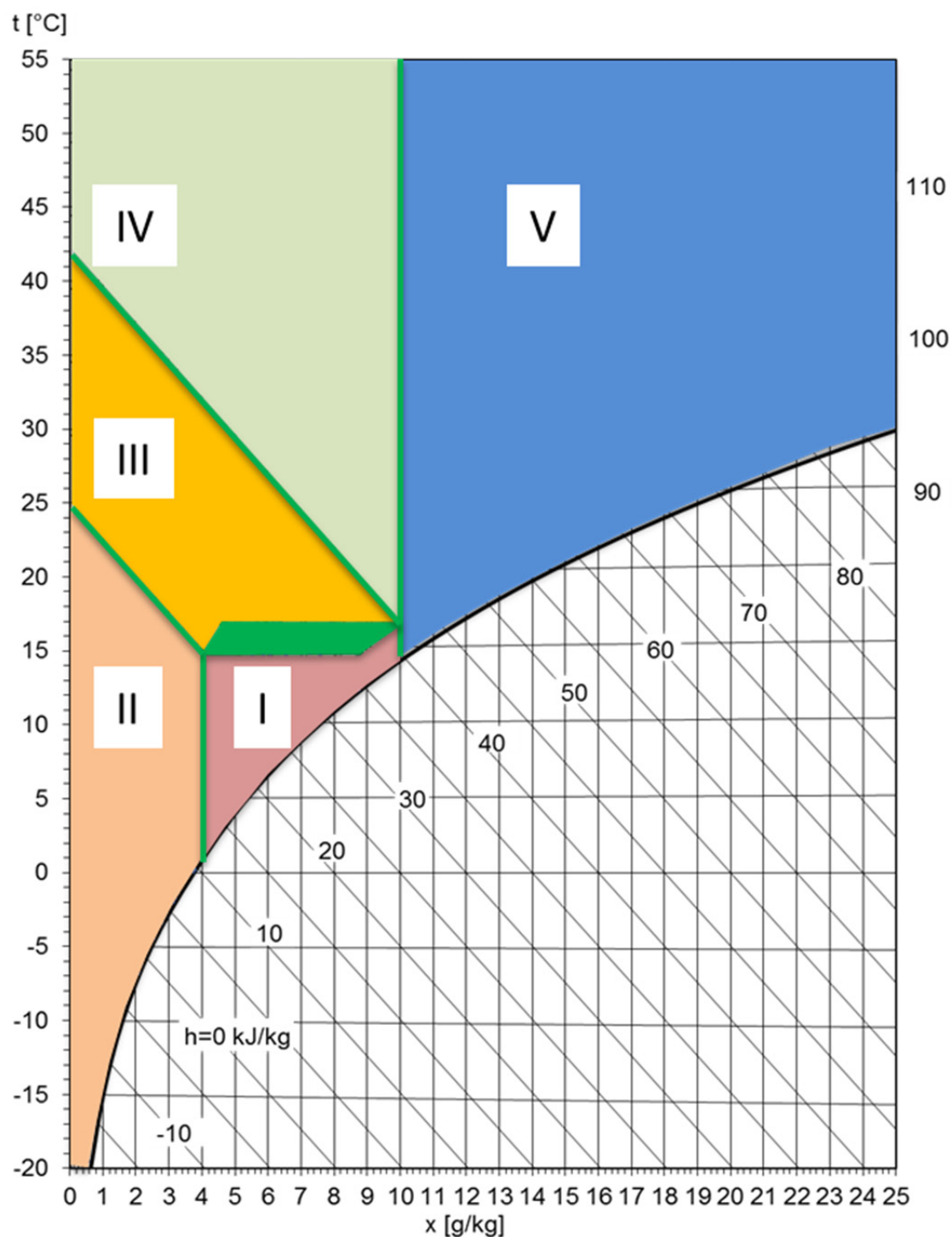


4.1. att. Darba produktivitātes zudumi atkarībā no gaisa temperatūras un relatīvā mitruma

4.1. att. produktivitātes zudumu virsmas augšgalā, t.i. četrstūrveidīgajā laukumā, kuru norobežo telpu temperatūra 20-24°C un relatīvais mitrums 40-60%, zudumi ir minimāli. Produktivitātes zudumi pieaug tiklīdz telpu gaisa parametri ir ārpus iepriekš minētām robežām.

5. EKONOMISKIE APRĒĶINI

Disertācijas darba ietvaros pētītie gaisa apstrādes režīmi ir parādīti uz Moljē diagrammas 5.1. att.

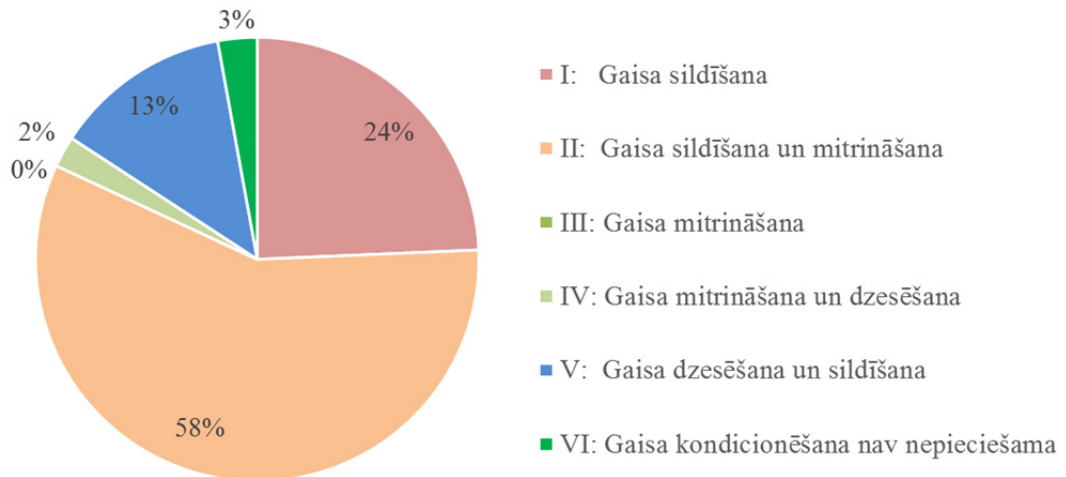


5.1. att. Gaisa apstrādes režīmi Moljē diagrammā

Izvēlētajai gaisa apstrādes konfigurācijai var galvenokārt izšķirt 5 iespējamās gaisa apstrādes režīmus. Vēlamie pieplūdes gaisa parametri zonā I var tikt sasniegti ar gaisa sildīšanu. Zonā II vēlamie parametri tiek sasniegti vispirms gaisu sildot un tad attiecīgi nomitrinot. Zonā III pietiek ar gaisa mitrināšanu. Gadījumā, ja āra gaisa parametri atrodas zonā IV, tad gaisa apstrādi ir labāk sākt ar gaisa mitrināšanu, kam seko dzesēšanas process, jo gaisa

dzesēšanu ir lētāk sākt no zemākas temperatūras. V zona atbilst gaisa dzesēšanai līdz 100% relatīvā mitruma līknei, un, pēc kondensācijas procesa līdz pieplūdes gaisa rasas punktam, gaiss tiek uzsildīts. Iekrāsotais četrstūrveidīgs laukums atbilst zonai, kad āra gaiss nav jāapstrādā.

5.2. att. ir parādīts gaisa apstrādes režīmu sadalījums 2010. gada griezumā pa stundām, izteikts procentos.

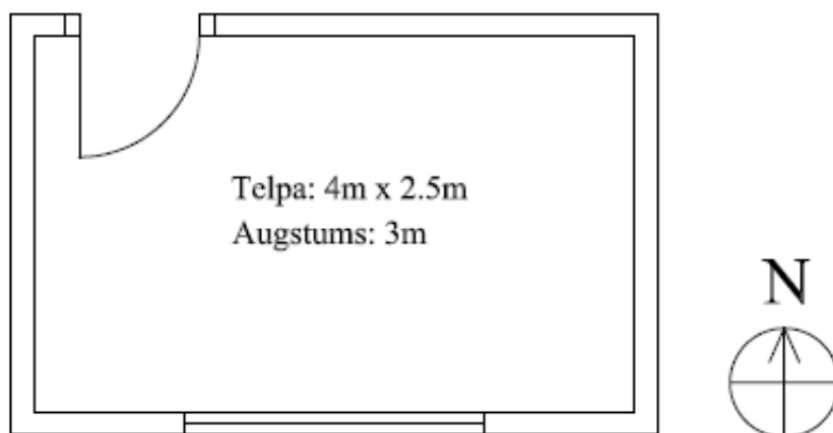


5.2. att. Gaisa apstrādes režīmu sadalījums 2010. gada griezumā

Papildus iepriekš minētiem pieciem gaisa apstrādes režīmiem ieviesām arī VI zonu, kas atbilst gadījumam, kad āra gaisa parametri atbilst vēlamajiem pieplūdes gaisa parametriem. Līdz ar to āra gaisu nav nepieciešams papildus apstrādāt. Atbilstoši aprēķiniem 2010. gadā āra gaisa parametri (temperatūra un relatīvais mitrums) visbiežāk atradās zonā II (58% laika), kam seko zona I ar 24%. Līdz ar to var secināt, ka gada garumā āra gaiss visbiežāk bija jāsilda. No 5.2. att. arī redzams, ka, Latvijas klimatiskos apstākļos, periods, kad nepieciešama mitrināšana ir vairāk nekā puse visa laika.

Dotā pētījuma ietvaros izstrādājām Excel rīku, kas izrēķina gaisa kondicionēšanas enerģijas patēriņus atsevišķai telpai, kurai ir savas siltumtehnikas īpašības. Rīks ir paredzēts arī telpu klimata simulācijām un ekonomiskiem aprēķiniem, ņemot vērā darba produktivitāti. Simulētās biroja telpas plāns ir parādīts 5.3. att.

Pieņēmām, ka dienviņu fasāde ir vienīgā ārējā virsma tiešā saskarē ar apkārtējo gaisu. Visas pārējās virsmas ir tiešajā saskarē ar citām iekšējām, kurās mēs pieņēmām praktiski līdzīgus temperatūras un mitruma režīmus.



5.3. att. Simulētās biroja telpas plāns

Simulācijas parametri bāzes gadījumam, t.i., kad zonā tiek nodrošināti vēlamie gaisa parametri produktīvam darbam, ir apkopoti 5.1. tabulā.

5.1. tabula

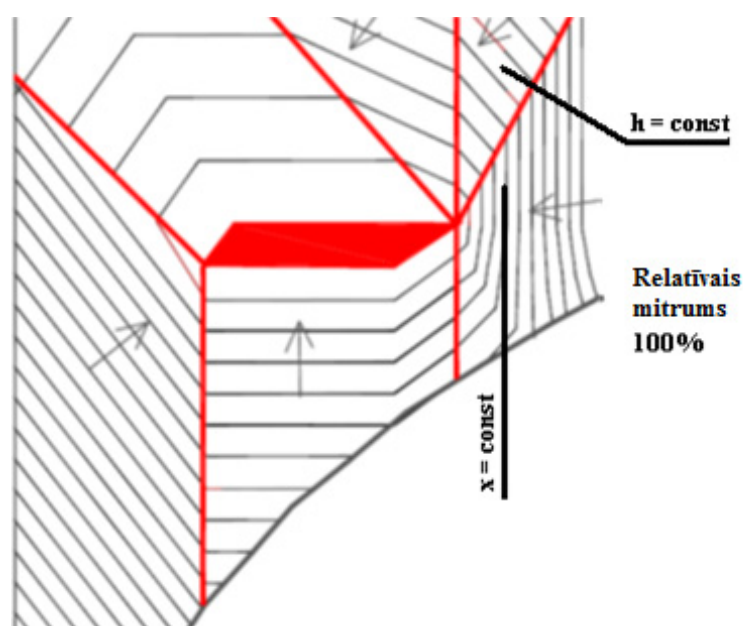
Simulācijas parametri

Logi	Dienvidu fasāde: 2 m ² (20% grīdas laukuma), dubultais stiklojums Ēnojuma koeficients, stiklam: 0.88 Ēnojuma koeficients, iekšējais ēnojums: 0.5 (gaišas krāsas aizkari) Kopējā U-vērtība: 2.2 W/m ² K
Dienvidu ārsiena	Kopējā U-vērtība: 0.35 W/m ² K Fasādes virsmas materiāls: alumīnija paneļi
AVGK	Gaisa apstrādes iekārta paredzēta dzesēšanai un sildīšanai Sabalansēts pieplūdes un noplūdes gaisa daudzums Minimālais gaisa daudzums: 1.4 l/s·m ² Minimālā gaisa pieplūdes temperatūra dzesēšanai: 16°C Rotējošs siltummainis ar efektivitāti: 0.75
Noslogojuma grafiks	Darba dienas: no 08:00-16:00
Noslogojums	10 m ² uz cilvēku Pastāvīgs fiziskās slodzes līmenis: 80 W uz cilvēku
Apgaismojums	8 W/m ²
Iekārtas	11 W/m ²
Mitruma izdalījumi	55 g/h uz cilvēku

Aprēķinus sākām ar āra klimata datu vākšanu un apstrādi, uz ko balstījās arī tālākie saules radiācijas aprēķini. Tālāk tika iekļauta informācija par pašu telpu, piem., dati par norobežojošām konstrukcijām un vēlamo telpu klimatu attiecībā uz optimālu produktivitāti. Rezultātā aprēķinājām sildīšanas un dzesēšanas slodzes apskatāmajā telpā, ko izmantojām nepieciešamās pieplūdes gaisa temperatūras aprēķinā. Izvēlējāmies konstantu gaisa plūsmas padevi ar mainīgu pieplūdes gaisa temperatūru. Tālāk aprēķinājām to enerģijas daudzumu, kas nepieciešams gaisa apstrādei, ieskaitot gaisa pārvietošanu. Izmantojot darba produktivitātes rādītājus, noteicām optimālās siltuma un aukstuma avotu jaudas, kā arī novērtējām ekonomiskās sekas, izvēloties, piem., mazākas jaudas.

Izvilcums no izstrādātā Excel rīka ar datu ievades sadaļu „Āra klimats”, kā arī aprēķina rezultāti 2010. gada pirmajai stundai, ir dots 5.4. att. Izstrādātais Excel rīks ietver rezultātu kopu par visu 2010. gadu (8760 stundas).

Bāzes simulācijas gadījumam uzzīmējām enerģijas patēriņa izolīnijas Moljē diagrammā (sk. 5.5. att.).



5.5. att. Enerģijas patēriņa izolīnijas dažādiem gaisa apstrādes režīmiem Moljē diagrammā

Bultiņas norāda virzienu, kurā samazinās enerģijas patēriņš. 5.5. att. tiek atspoguļots teorētisks modelis. Reālajā gadījumā procesiem ir robežas, jo gaisa apstrādes iekārtas elementiem (piem. sildītājam vai dzesētājam) ir noteiktas uzstādītās jaudas. Ierobežotās jaudas ietekmē telpu klimatu un attiecīgi arī darbinieku produktivitāti un darba devēja peļņu.

OUTDOOR CLIMATE

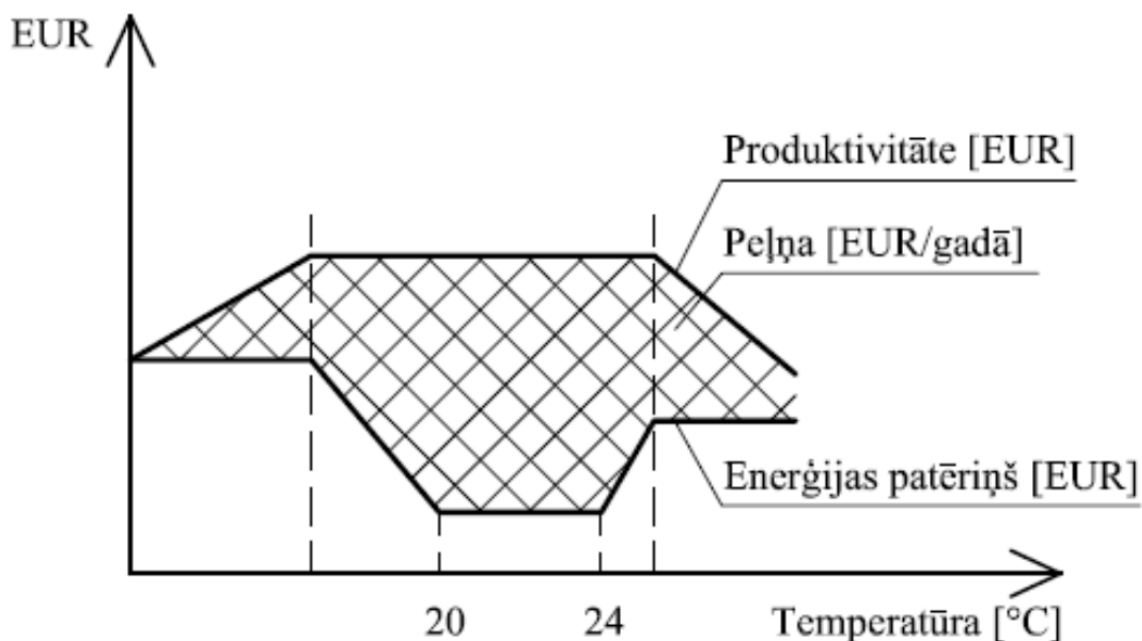
Temperature	t_o	[°C]	-4.3
Relative humidity	φ_o	[%]	90
Wind speed	v_o	[m/s]	1
Saturated vapor pressure	p_s	[kPa]	0.4
Actual water vapour pressure	p_w	[kPa]	0.4
Absolute humidity	x_o	[kg _{water} /kg _{dry air}]	0.002
Enthalpy	h_o	kJ/kg	1.8

Solar radiation on horizontal

Regression coefficient for Riga, Latvia	c_0	0.69491	[-]	
Regression coefficient for Riga, Latvia	c_1	-0.10822	[-]	
Regression coefficient for Riga, Latvia	c_2	-0.22999	[-]	
Regression coefficient for Riga, Latvia	c_3	0.01232	[-]	
Regression coefficient for Riga, Latvia	c_4	-0.00091	[-]	
Regression coefficient for Riga, Latvia	c_5	0.0039	[-]	
Regression coefficient for Riga, Latvia	d	-3.46883	[-]	
Regression coefficient for Riga, Latvia	k	17	[-]	
Solar constant	I_0	1,355	[W/m ²]	
Latitude of Riga, Latvia	LAT	56.967	[deg]	
Longitude of Riga, Latvia	LON	24.05	[deg]	
Local Standard Time Meridian	LSTM	30	[deg]	
Greenwich Mean Time deviation for Riga	ΔT_{GMT}	2	[h]	
Date		[d-mmm]		1-Jan
Weekday		[ddd]		Fri
Day increment		[-]		1
Equation of time	EoT	[min]		-3.7
Constant B		[-]		-78.9
Time correction factor	TC	[min]		-27.5
Local Time	LT	[h]		1
Local solar time	LST	[h]		0.54
Hour angle	HRA	[deg]		-172
Declination angle	δ	[deg]		-23
Sine of Elevation angle	$\sin\alpha$	[-]		-0.8
Elevation angle	α	[rad]		-1.0

5.4. att. Izvilums no izstrādātā Excel rīka

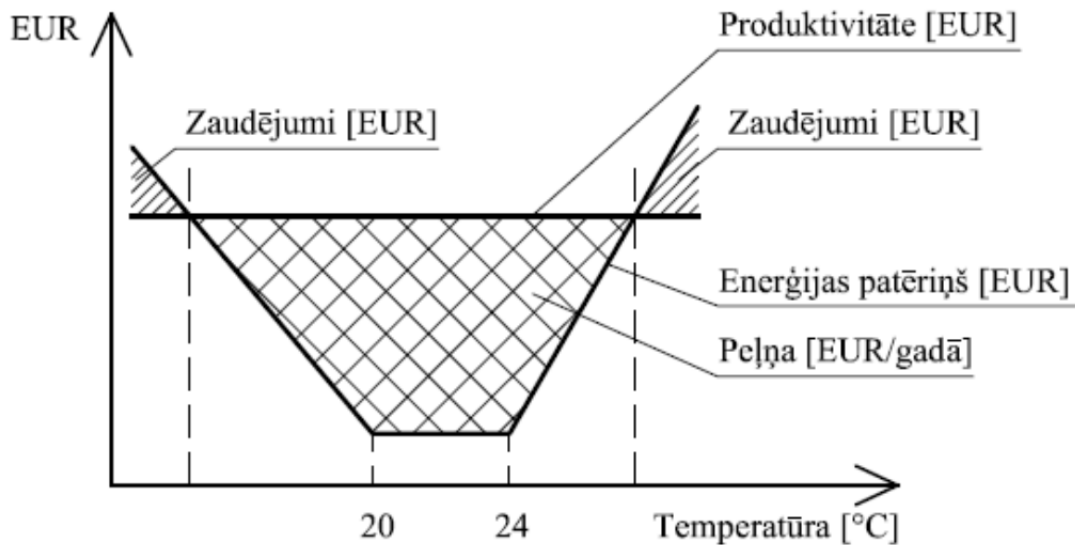
Produktivitātes un enerģijas patēriņa šķērsriezums pa izotermu ir parādīts 5.6. att.



5.6. att. Produktivitātes un enerģijas patēriņa šķērsriezums pa izotermu; ierobežotas jaudas

5.6. att. ir atspoguļots principiāls šķērsriezums pa izotermu pie noteiktiem āra klimata parametriem. Šis attēls tiek tālāk izmantots, lai raksturotu ekonomisko ieguvumu. Pieņēmām, ka pieplūdes gaisa parametri sakrīt ar gaisa parametriem, kas atbilst optimālai produktivitātei. Kad āra gaisa parametri sakrīt ar vēlamajiem parametriem (temperatūra robežās no 20 līdz 24°C), enerģija tiek patērēta vienīgi gaisa plūsmas nodrošināšanai, t.i. ventilatoru darbībai. Līdz ar to papildus enerģija gaisa apstrādei pie dotajiem apstākļiem nav nepieciešama. Darbinieku produktivitāte šajā gadījumā ir maksimāla. Tā kā jaudas ir ierobežotas, enerģijas patēriņš gaisa sildīšanai un dzesēšanai pieaug, novirzoties āra gaisa apstākļiem no telpās vēlamajiem. Maksimālā produktivitāte ir tik ilgi, cik ilgi pietiek uzstādītās jaudas, lai uzturētu optimālus telpu klimata parametrus. Produktivitāte sāk samazināties tiklīdz uzstādītajām iekārtām nepietiek jaudas. Šķēlums starp divām virsmām (produktivitātes un enerģijas patēriņa) atbilst peļņai.

5.7. att. arī ir dots produktivitātes un enerģijas patēriņa šķērsriezums pa izotermu, tikai pie nosacījuma, ka jaudas ir neierobežotas.

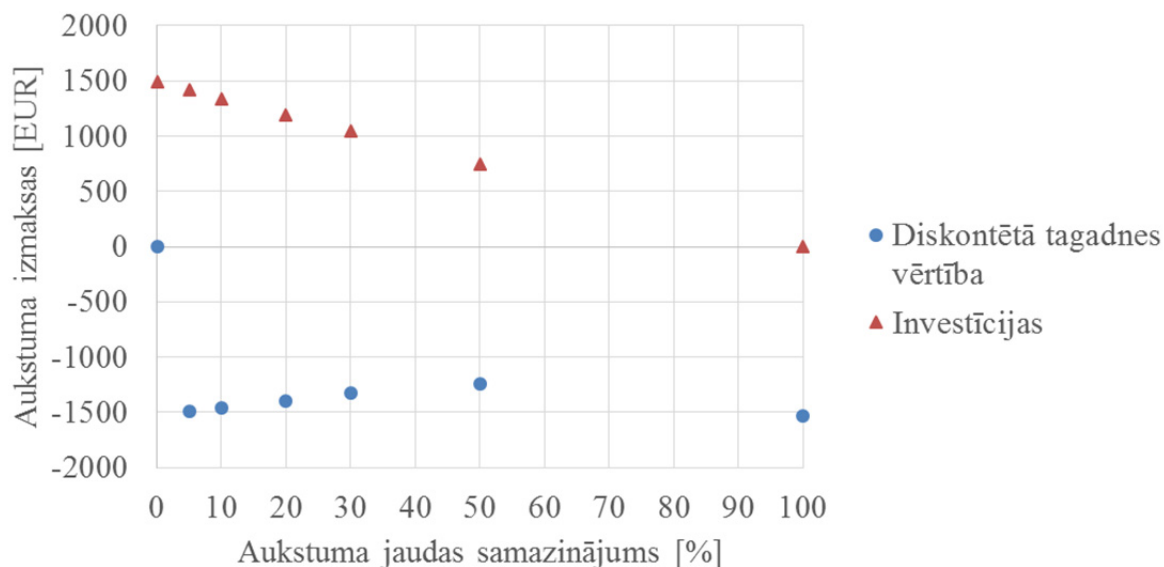


5.7. att. Produktivitātes un enerģijas patēriņa šķērs griezumus pa izotermu; neierobežotas jaudas

Princips būtībā ir tas pats, kas iepriekš aprakstīts 5.6. attēlam. Galvenā starpība ir tā, ka šajā gadījumā pieņemām, ka uzstādītām jaudām nav nekādu ierobežojumu. Tādējādi visa gada garumā ir iespējams nodrošināt maksimālai produktivitātei atbilstošu telpu klimatu, neatkarīgi no āra laikapstākļiem. Optimālā klimata uzturēšana nav iespējama bez papildu enerģijas izdevumiem, un var rasties gadījums, kad vairs nebūs izdevīgi nodrošināt optimālo klimatu, jo enerģijas izmaksas pārsniegs produktivitātes ieguvumus. Tas var attiecīgi tālāk novest pie zaudējumiem, ko 5.7. att. parāda iesvītrotais (ar slīpām svītrām) laukums, kurš attēlo zaudējumus gada laikā.

Optimālo jaudu izvēlē ir jāņem vērā investīcijas aukstuma vai siltuma avotā. Dotā darba ietvaros pieņemām, ka aukstuma avots ir čilleris, kura kopējās izbūves izmaksas sastāda 400 EUR/kW uzstādītās jaudas. Gada ietaupījums, ja tāds ir, pateicoties samazinātai uzstādītai jaudai ir vienāds ar starpību starp produktivitātes zudumu un attiecīgām enerģijas izmaksām. Līdz ar to lēmumu, vai ir izdevīgi, piem., samazināt aukstuma avota jaudu var pieņemt, izmantojot pašreizējās neto vērtības ekonomisko modeli, kas iekļauj gan investīciju izmaksas, gan gada ietaupījumus. Investīciju projektu ir izdevīgi ieviest gadījumā, kad visu ietaupījumu diskontētā tagadnes vērtība pārsniedz kopējās investīcijas.

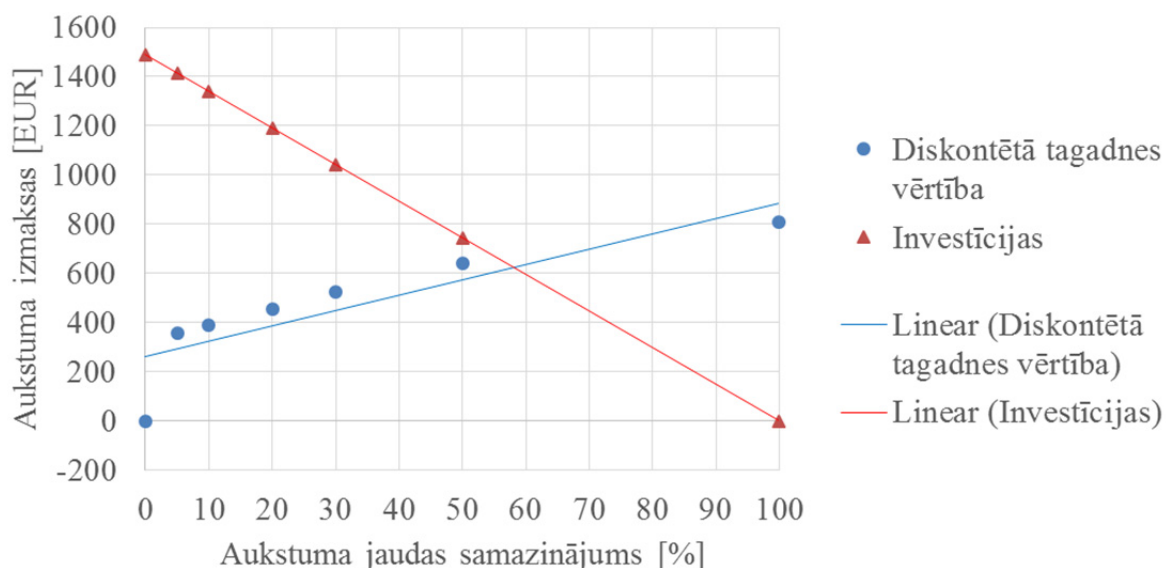
5.8. att. ir parādīts, vai ir izdevīgi samazināt aukstuma jaudu, kad logu laukums ir 2 m^2 un darbinieku algas līmenis ir 750 EUR.



5.8. att. Aukstuma jaudas samazinājuma izdevīgums; logu laukums 2 m²; alga 750 EUR

Tā kā visas diskontētās tagadnes vērtības ir zemākas nekā investīcijas, var secināt, ka ilgtermiņā (20 gadu laikā), aukstuma avota jaudas samazinājums nav izdevīgs. Tāpēc pie dotiem nosacījumiem, jaudu ir izdevīgi pieņemt vienādu ar maksimāli aprēķināto.

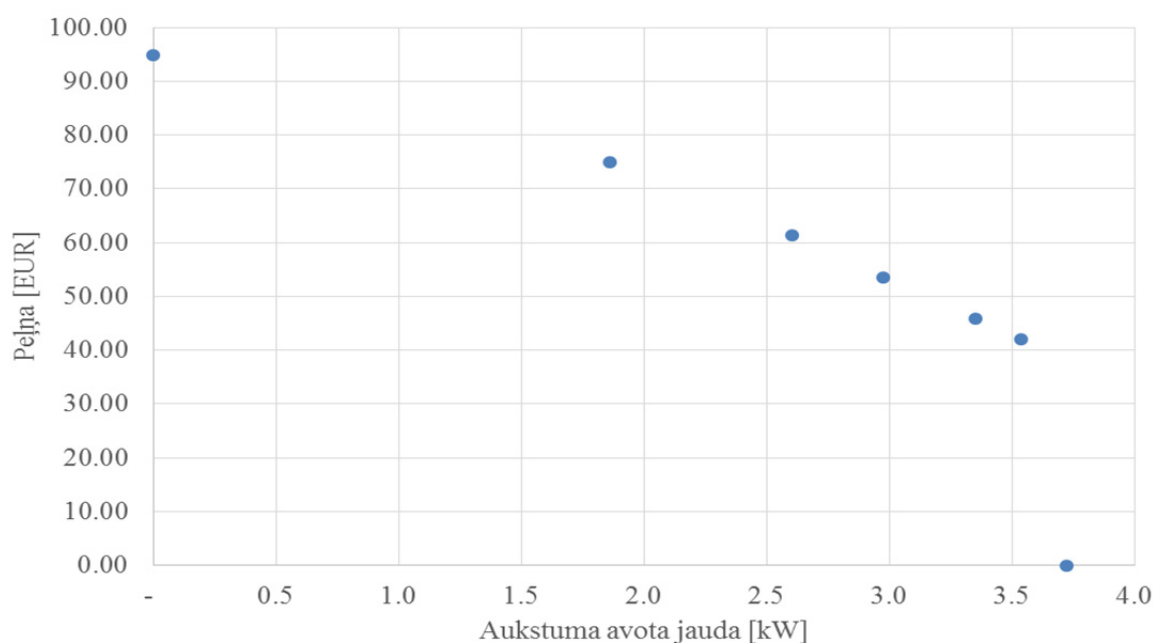
Izdevīguma novērtējums aukstuma jaudas samazinājumam pie tiem pašiem izejas nosacījumiem, taču palielinot logu laukumu no 2 līdz 4 m², ir dots 5.9. att.



5.9. att. Aukstuma jaudas samazinājuma izdevīgums; logu laukums 4 m²; alga 750 EUR

Diskontētā tagadnes vērtība pārsniedz investīcijas pie 100% aukstuma jaudas samazinājuma. Papildinot grafiku ar lineārām tendences līknēm, var aptuveni noteikt pārejas punktu (dotajā gadījumā ap 57% jaudas samazinājuma). Lielākā starpība rodas pie 100% samazinājuma, norādot, ka visizdevīgāk būtu pilnībā atteikties no dzesēšanas sistēmas izbūves ilgtermiņā, pie nosacījuma, ka āra gaisa parametri visu 20 gadu garumā būtu tādi paši kā 2010. gadā, un aktivitātes telpā nemainītos.

Sakarība starp maksimālo peļņu, izteiktu ar maksimālo produktivitāti un enerģijas ietaupījumu, pie nosacījuma, ka logu laukums ir 4 m² un alga ir 750 EUR, ir attēlota 5.10. att.



5.10. att. Sakarība starp maksimālo peļņu un aukstuma avota jaudu; logu laukums 4 m²; alga 750 EUR

Kad logu laukums ir vienāds ar 4 m², maksimālo peļņu (95 Euro uz cilvēku gadā) var sasniegt, neuzstādot dzesēšanas sistēmu. Enerģijas un investīciju izmaksas ir pārāk lielas, salīdzinot tās ar potenciālajiem produktivitātes ieguvumiem. Tomēr ir svarīgi pieminēt, ka pilnīga atteikšanās no dzesēšanas sistēmas nav iespējama, jo dzesēšana ir jānodrošina komforta un veselības dēļ, kā to nosaka vairāki termālā komforta standarti. Līdz ar to aukstuma avota jauda būs tieši atkarīga no projektā paredzētās telpu gaisa temperatūras, kas izvēlēta atbilstoši kādam standartam vai būvnoteikumiem.

Atkārtojot iepriekš aprakstīto aprēķina metodiku un mainot ieejas datu vērtības, piem., logu U-vērtību, logu laukumu, ēkas orientāciju pēc debespusēm u.tml., ir iespējams izvēlēties optimālās aukstuma un siltuma jaudas pēc maksimālās peļņas kritērija.

SECINĀJUMI

- 1) Konstatēts, ka kaut gan vairāki zinātniskie pētījumi tika veikti, lai kvantitatīvi izteiktu enerģijas izmaksas atkarībā no telpā uzturētā klimata, tomēr šie pētījumi galvenokārt aprobežojas ar vienkāršiem aprēķiniem, kuros tiek izmantotas gaisa vidējās temperatūras pa mēnešiem. Darbā parādīts, ka biroja ēkām ir jāizmanto sarežģītākas aprēķina metodes, izmantojot āra gaisa temperatūras un relatīvā mitruma biežumus, kā arī datus par saules radiāciju, mākoņu daudzumu un vēja ātrumu.
- 2) Literatūras apskatā sistematizētie agrāko pētījumu rezultāti par produktivitātes atkarību no telpas gaisa parametriem dod drošu zinātnisku pamatotu bāzi, lai noteiktu optimālo produktivitātes zonu (telpas gaisa temperatūra un relatīvais mitrums) biroju ēkās. Rezultātā ir izstrādāts matemātisks modelis produktivitātei atkarībā no telpas gaisa parametriem.
- 3) Piedāvāta klimatoloģisko datu apstrādes metodika telpu klimata un enerģijas patēriņa aprēķinam. Darbā veiktā Latvijas klimatoloģisko datu analīze liecina, ka lielāko daļu laika (97% jeb 8643 h) āra gaisa temperatūra un relatīvais mitrums ir ārpus optimālās produktivitātes zonas, norādot uz nepieciešamību gaisu kondicionēt gandrīz visa gada garumā. Pie tam pagaidām tiek lietota daļēja gaisa kondicionēšana, t.i. sildīšana un dzesēšana, kaut gan, lai nodrošinātu optimālos darba vides parametrus, ir nepieciešams gaisu arī mitrināt vai sausināt.
- 4) Darbā piedāvāta metodoloģija gaisa kondicionēšanas sistēmas enerģijas patēriņu aprēķinam, kas balstīts uz faktiskajiem pilnajiem meteoroloģiskajiem datiem par klimatu, ņemot vērā ēkas norobežojošo konstrukciju siltumtehnikās īpašības, ēkas novietojumu pret debespusēm un telpu ekspluatācijas režīmu pa mēnešiem un diennakts laikā. Metodoloģija dod iespēju ekonomiski optimizēt gaisa kondicionēšanas sistēmas iekārtu raksturlielumus pēc maksimālās peļņas.
- 5) Izstrādāts matemātisks modelis optimālās siltuma un aukstuma avotu jaudas izvēlei pēc maksimālās peļņas kritērija, ņemot vērā darba produktivitātes un telpu klimata sakarības.
- 6) Darba rezultātus var izmantot kā apkures, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmu projektēšanai, tā arī biroja ēku ekspluatācijas dienestu darbā.

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

- 1) Stankeviča G., Vāravš V., Krēsliņš A. Trends in cooling degree days for building energy estimation in Latvia// The Scientific Journal of Riga Technical University. Construction Science. - 2013. – Vol.13. - pp. 89-94.
- 2) Stankevica G., Kreslins A. Energy consumption and employee productivity investigation with respect to profit in office buildings// Proceedings of 11th REHVA World Congress & 8th International Conference on IAQVEC, CLIMA 2013. - Prague, Czech Republic, 16-19 June, 2013. - pp. 3238-3246.
- 3) Stankevica G., Kreslins A. Impact of indoor climate on energy efficiency and productivity in office buildings// Proceedings of the 7th International Cold Climate HVAC Conference. – Calgary, Canada, 12-14 November, 2012. - pp. 169-175.
- 4) Stankevica G., Kreslins A. Impact of indoor temperature on energy efficiency in office buildings// Proceedings of the International Scientific Conference “Renewable Energy and Energy Efficiency”. – Jelgava, Latvia, 28-30 May, 2012. - pp. 207-212.
- 5) Stankevica G., Lesinskis A. Indoor air quality and thermal comfort evaluation in Latvian daycare centers with carbon dioxide, temperature and humidity as indicators// Journal of Civil Engineering and Architecture. - 2012. – Vol.6(5). - pp. 633-638.
- 6) Stankevica G., Kreslins A. Energy efficiency improvement measures and their effect on heating energy consumption and indoor climate: case study in selected Latvian kindergartens// Proceedings of the IFME World Congress on Municipal Engineering. – Helsinki, Finland, 4-10 June, 2012. – pp. 19-27.