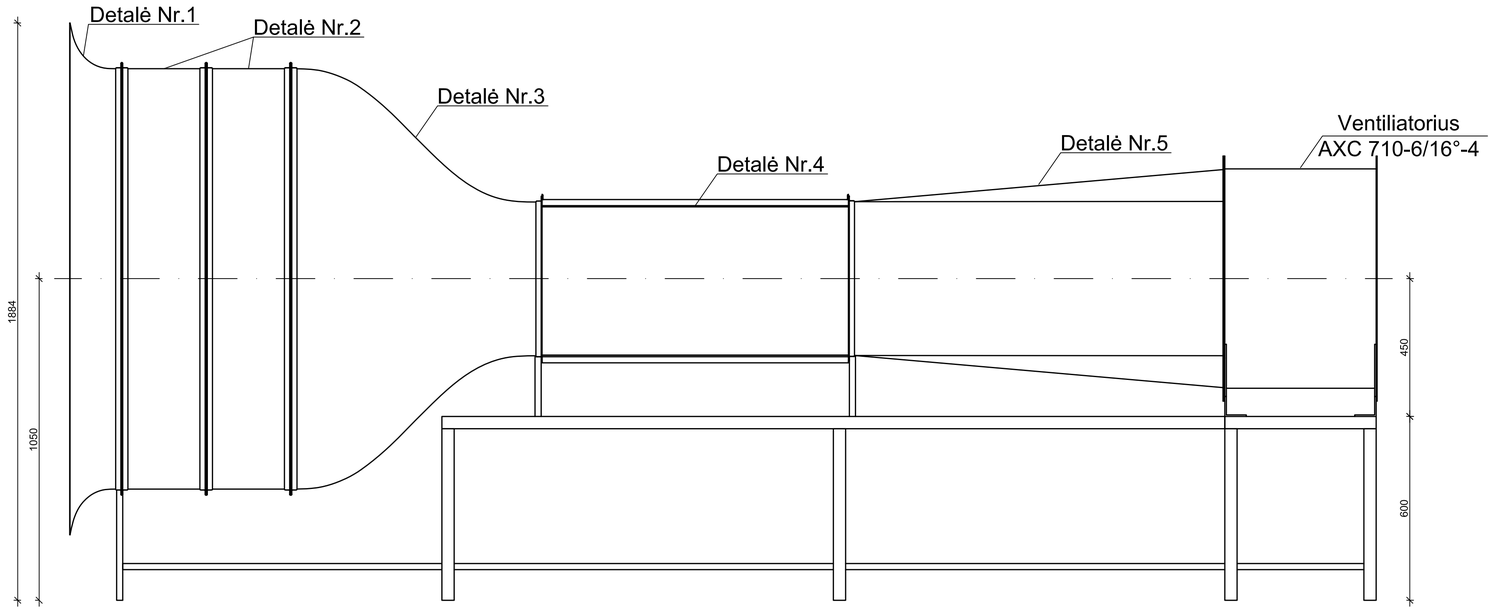
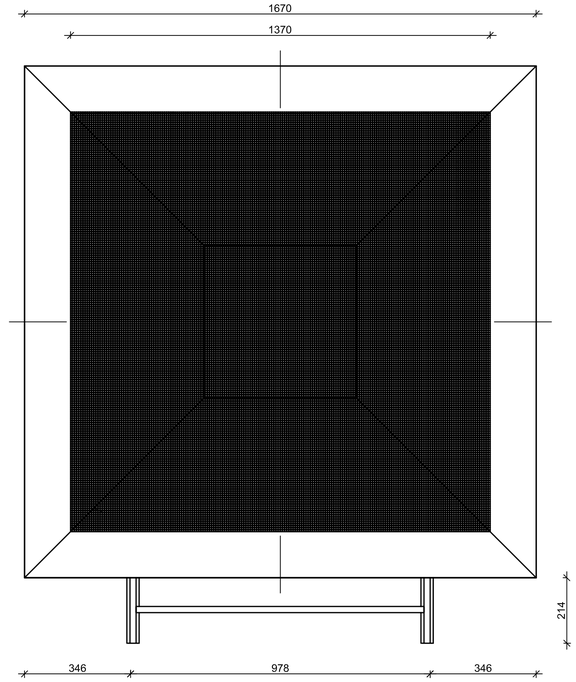
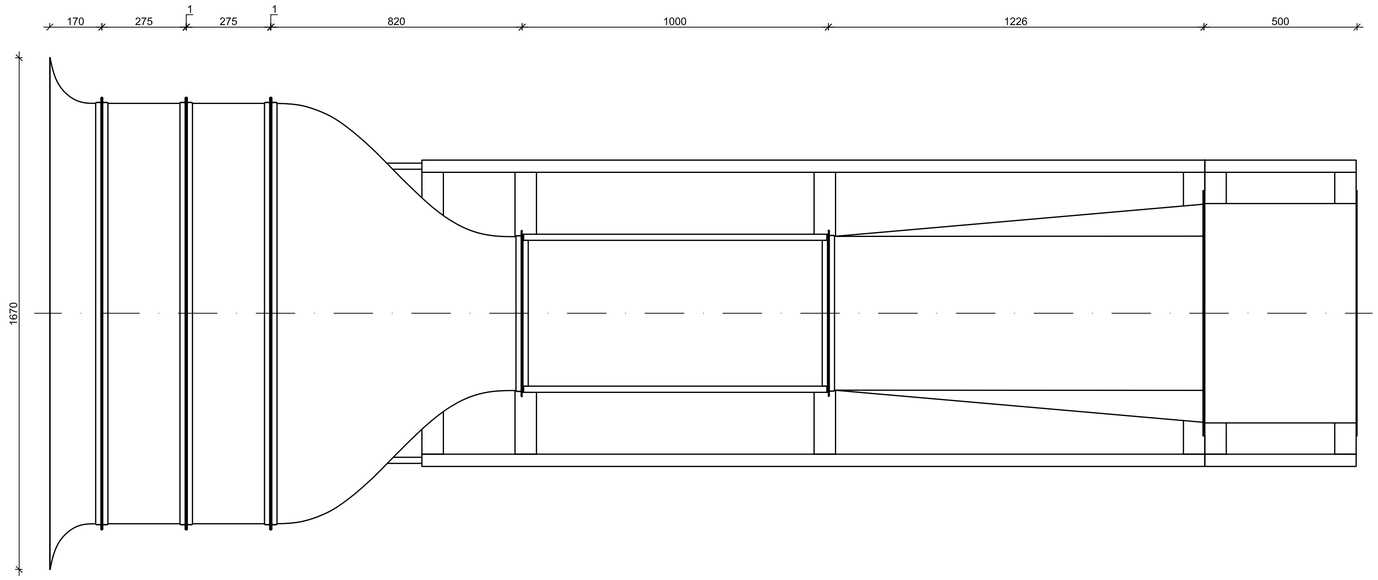
Grafinė dalis

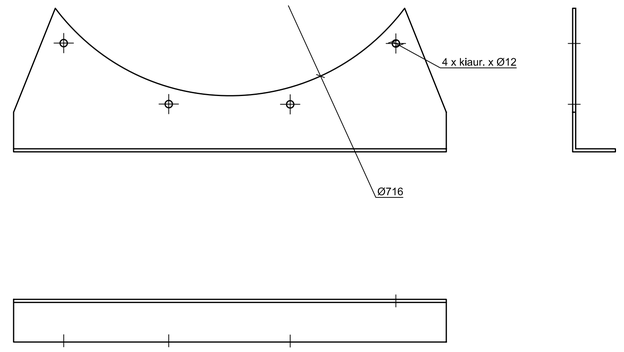
Aerodinaminis vamzdis
M 1:10





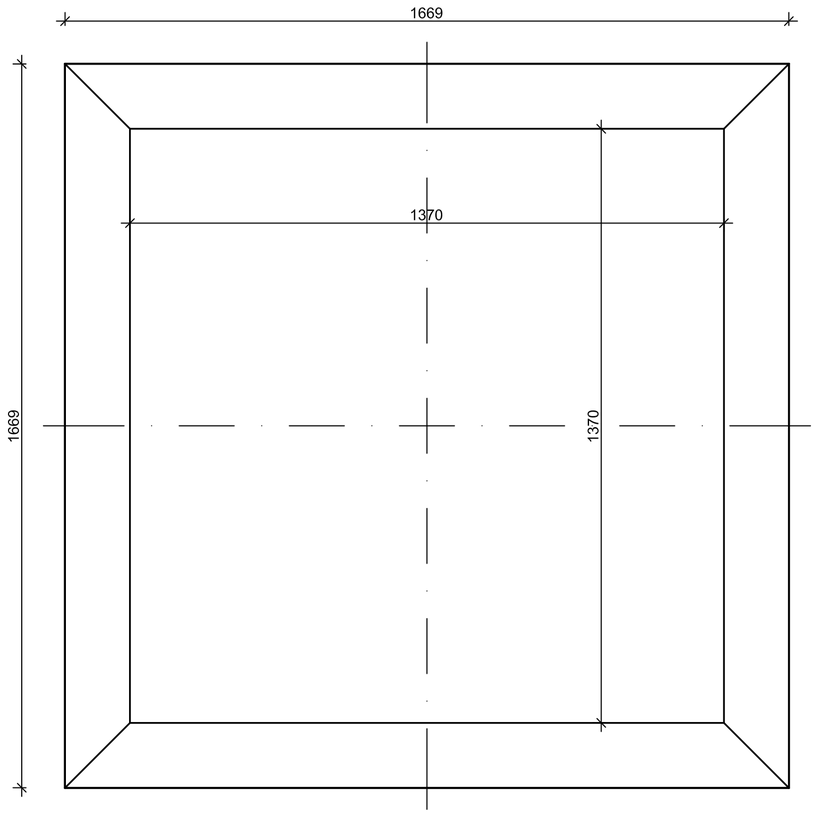


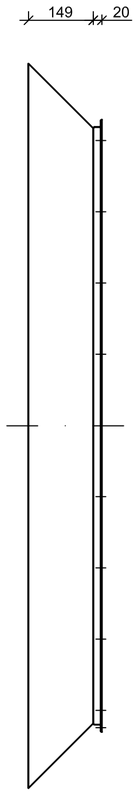
Ventiliatoriaus tvirtinimo elementas
M 1:5

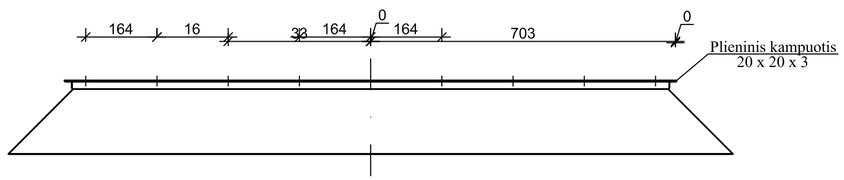


Pareigos	Pavardė	Parašas	Data	Aerodinaminis vamzdis M 1:10	
Studentas	Juozas Bielskus				
Vadovas	E. Juodis				
VGTU, AIF, Pastatų energetikos katedra				Gedimino technikos universitetas Vilnius, Saulėtekio al. 11	Lapas / Lapų

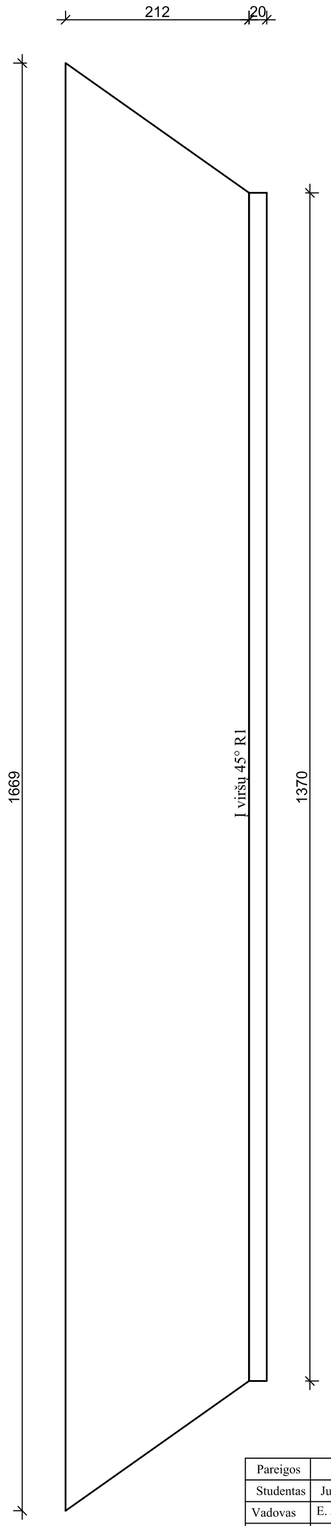
Detalė Nr. 1
M 1:10





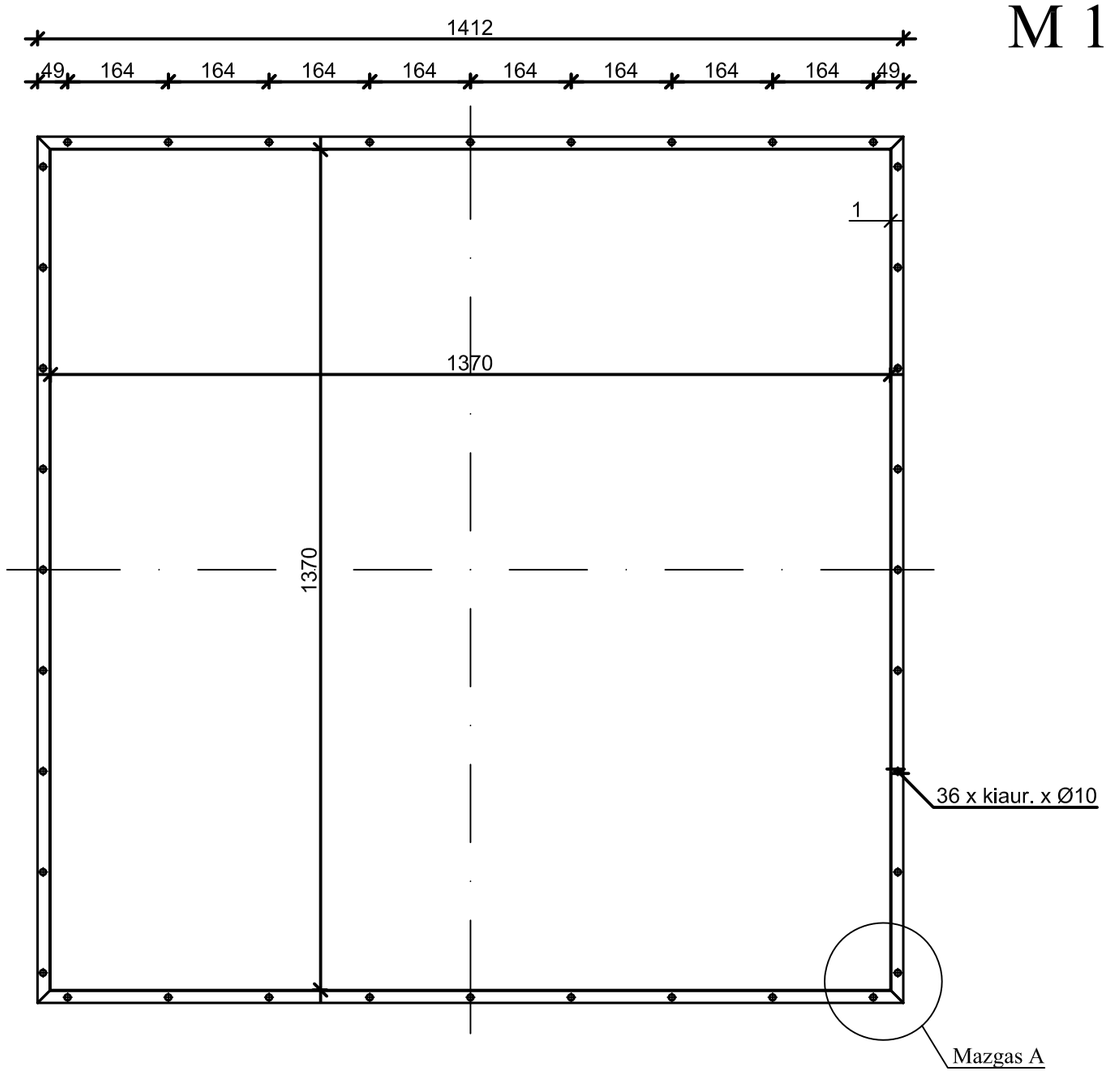


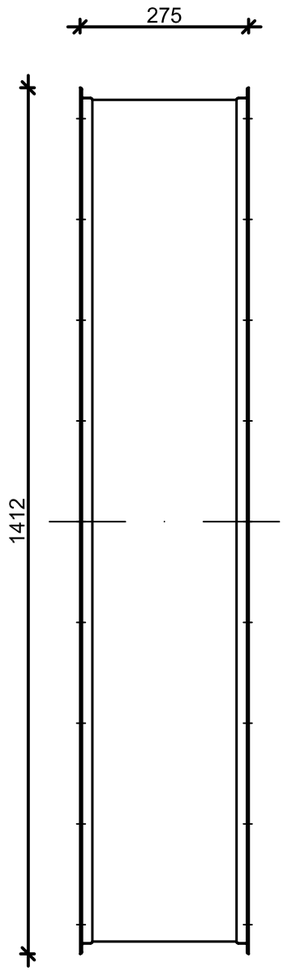
Detalės Nr. 1 išklotinė (vienos kraštinės)
M 1:5



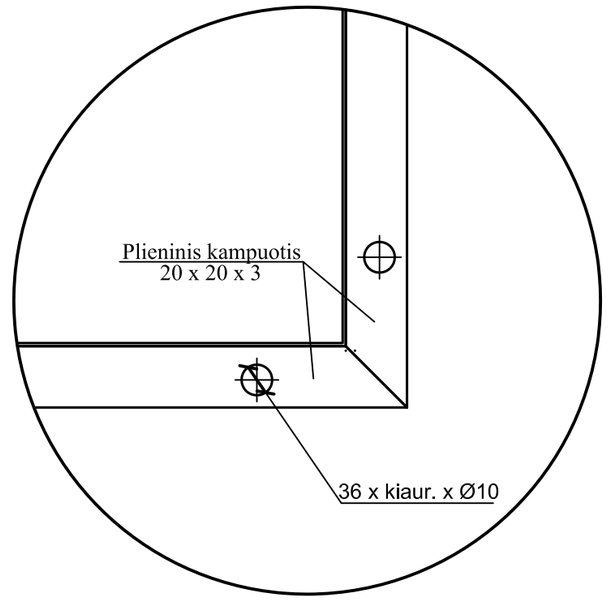
Pareigos	Pavardė	Parašas	Data	Detalė Nr. 1 (kolektorius) M 1:10	
Studentas	Juozas Bielskus				
Vadovas	E. Juodis				
VGTU, AIF, Pastatų energetikos katedra				Gedimino technikos universitetas Vilnius, Saulėtekio al. 11	Lapas / Lapų

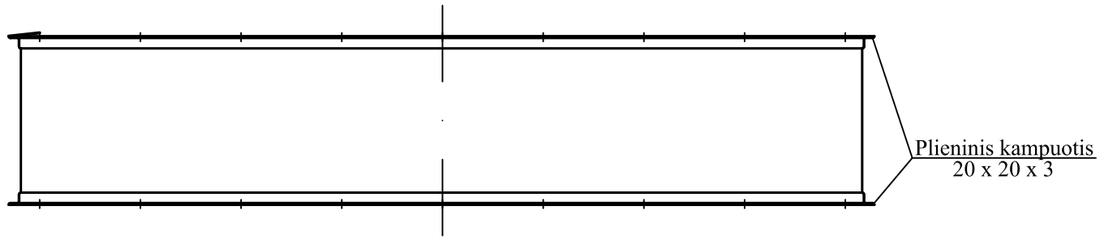
Detalė Nr. 2
M 1:10





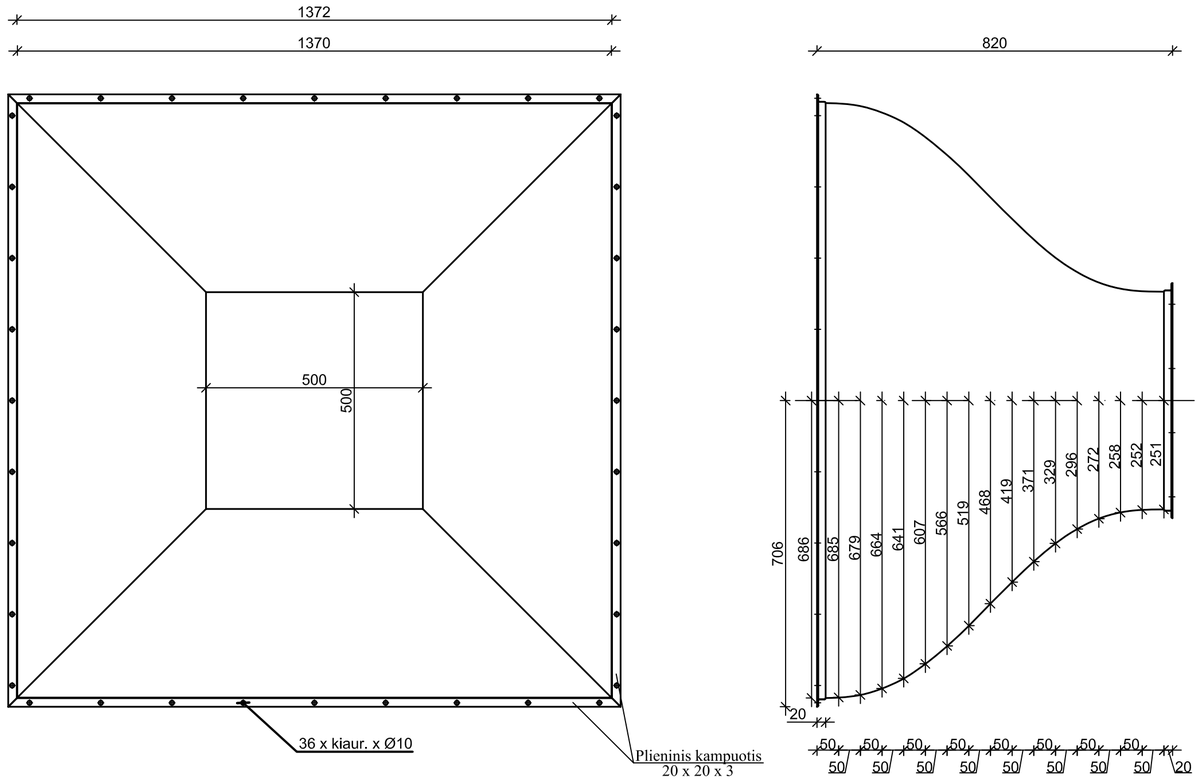
Mazgas A
M 1:2

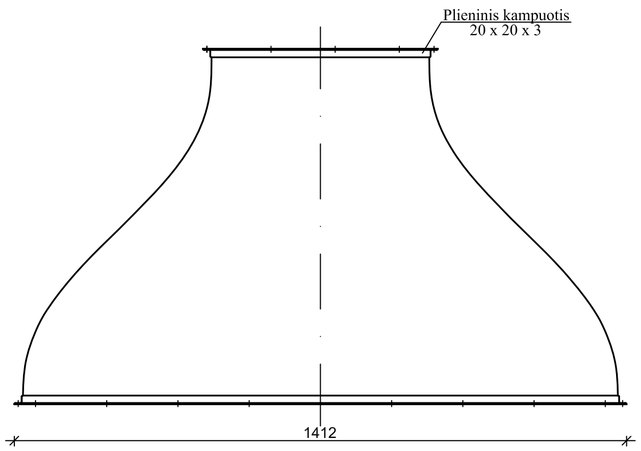




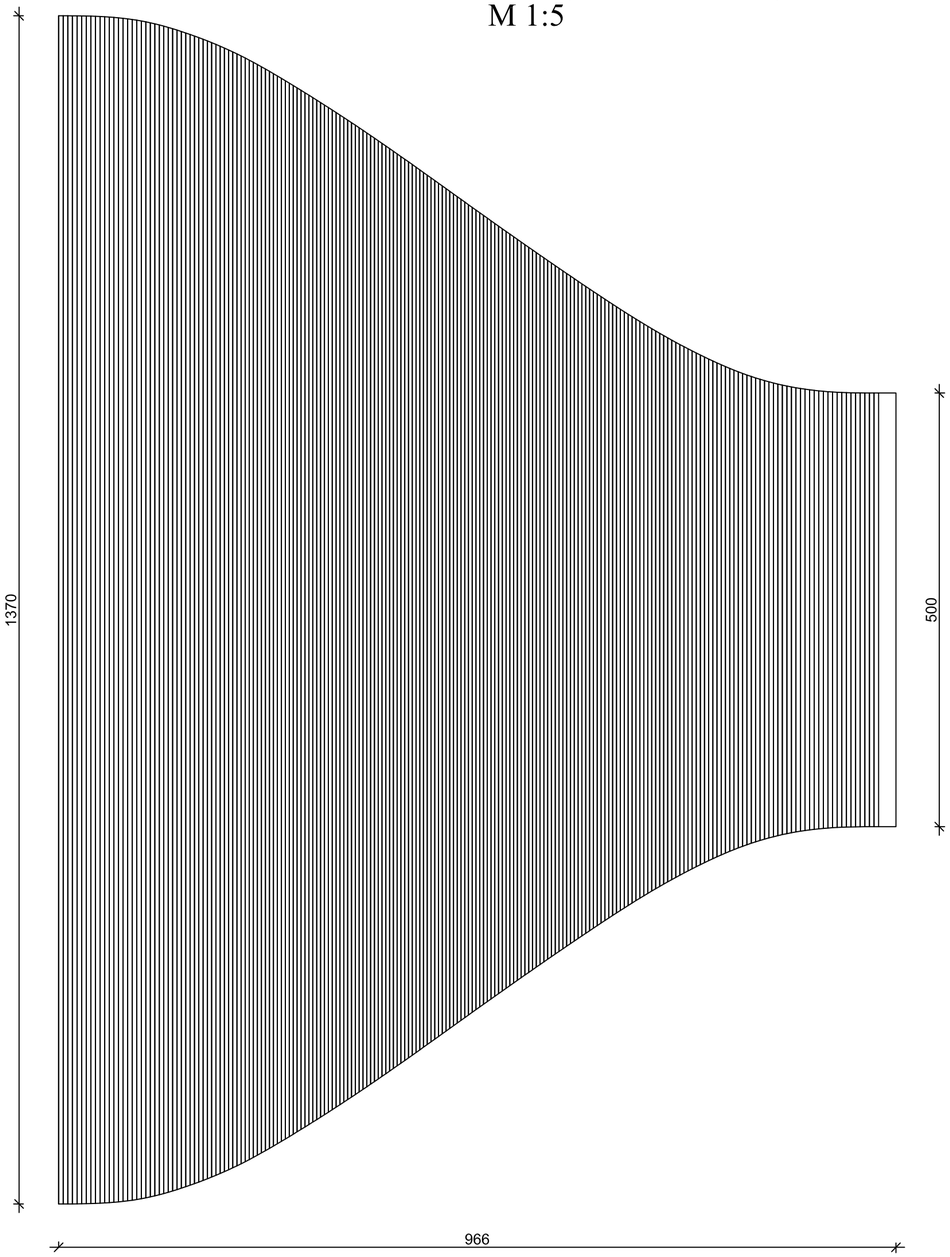
Pareigos	Pavardė	Parašas	Data	Detalė Nr. 2 (prieškameris) M 1:10	
Studentas	Juozas Bielskus				
Vadovas	E. Juodis				
VGTU, AIF, Pastatų energetikos katedra					Lapas / Lapų

Detalė Nr. 3
M 1:10





Detalės Nr. 3 išklotinė (vienos kraštinės)
M 1:5



Pareigos	Pavardė	Parašas	Data
Studentas	Juozas Bielskus		
Vadovas	E. Juodis		

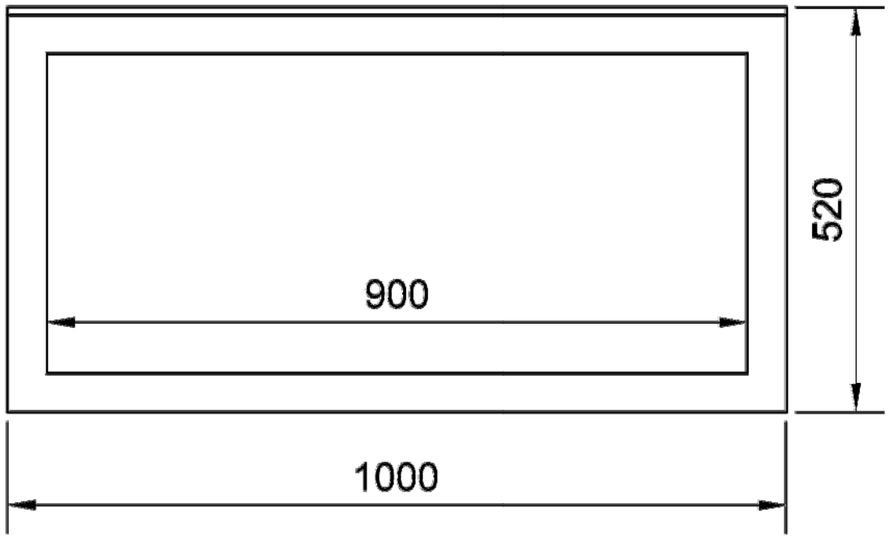
Detalė Nr. 3 (susiaurėjimo sritis)
M 1:10

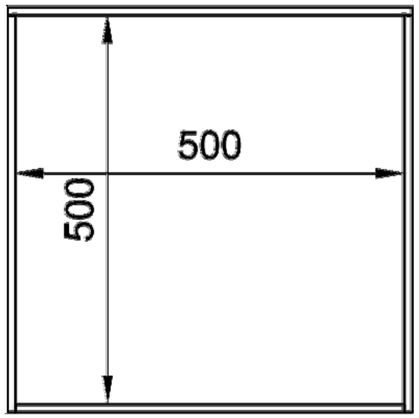
VGTU, AIF, Pastatų energetikos katedra

Gedimino technikos universitetas
Vilnius, Saulėtekio al. 11

Lapas	Lapų

Darbinė kamera (detalė Nr. 4)





Detalė A: neskaidrus plastikas, 1000x500x10 mm su apskritimo formos skyle centre, kurios Ø390 mm ir su 5 mm kantu (kantas: Ø400 mm);

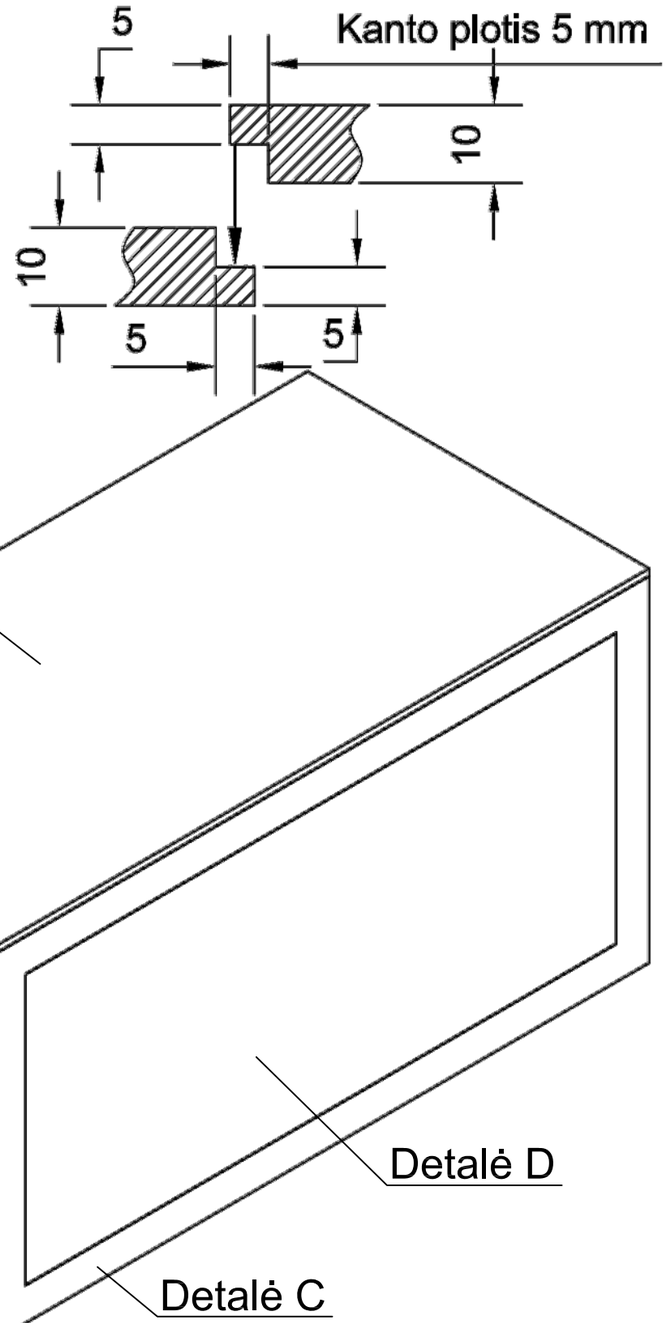
Detalė B: neskaidrus plastikas, Ø400 mm apskritimas su 5 mm kantu (kantas: Ø390 mm);

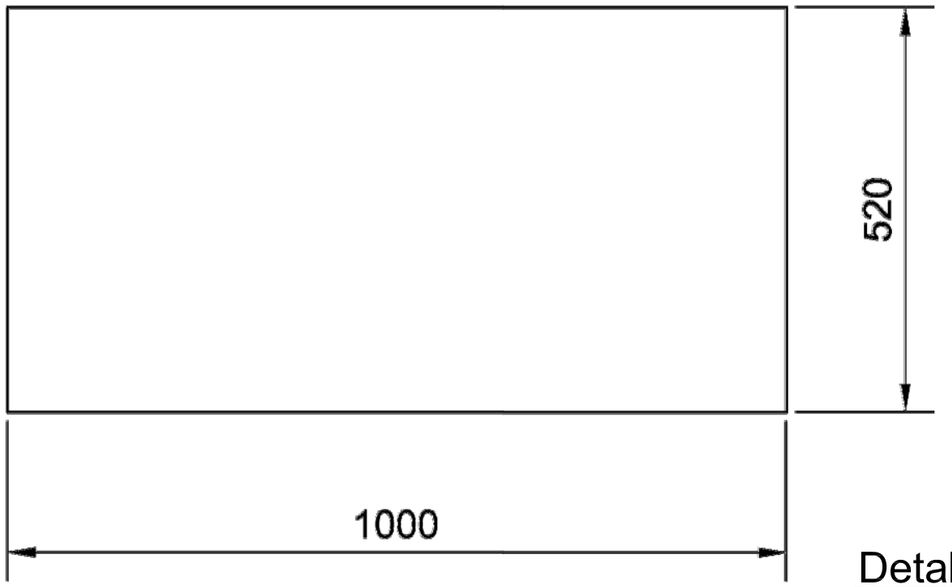
Detalė C: skaidrus plastikas, 1000x510x10 mm su kvadratine skyle, kurios dydis 400x890 mm ir su kantu 5 mm (skylė su kantu aplinkui);

Detalė D: skaidrus plastikas, 900x410x10 mm su kantu 5 mm;

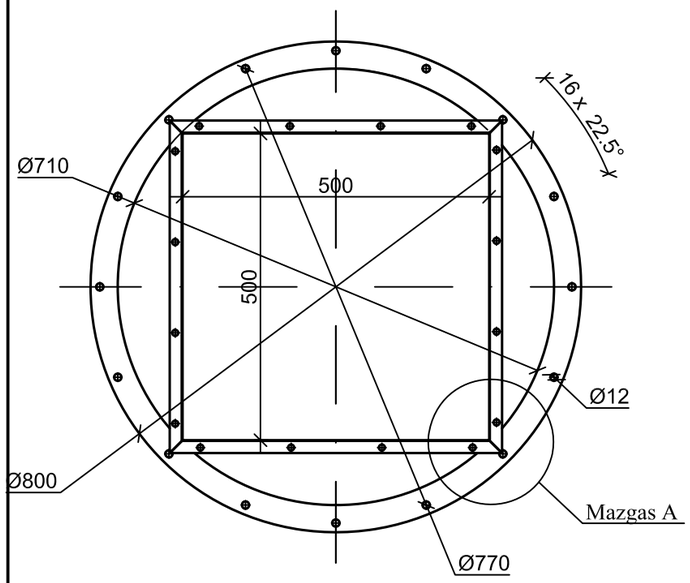
Detalė G: skaidrus plastikas, 1000x520x10 mm;

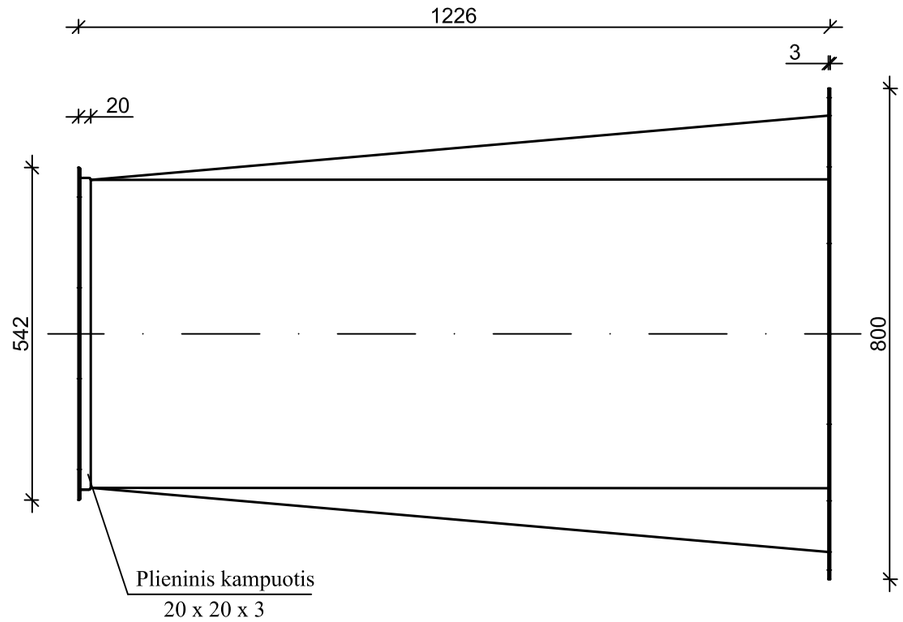
Detalė E: skaidrus plastikas, 1000x510x10 mm,

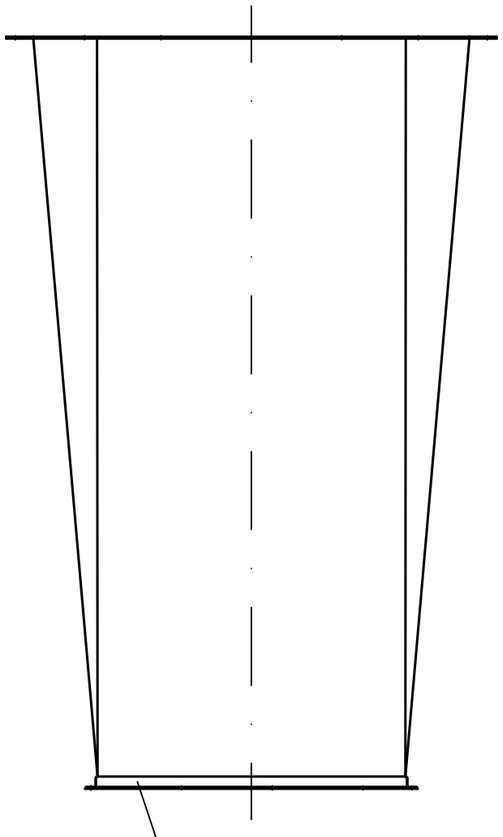




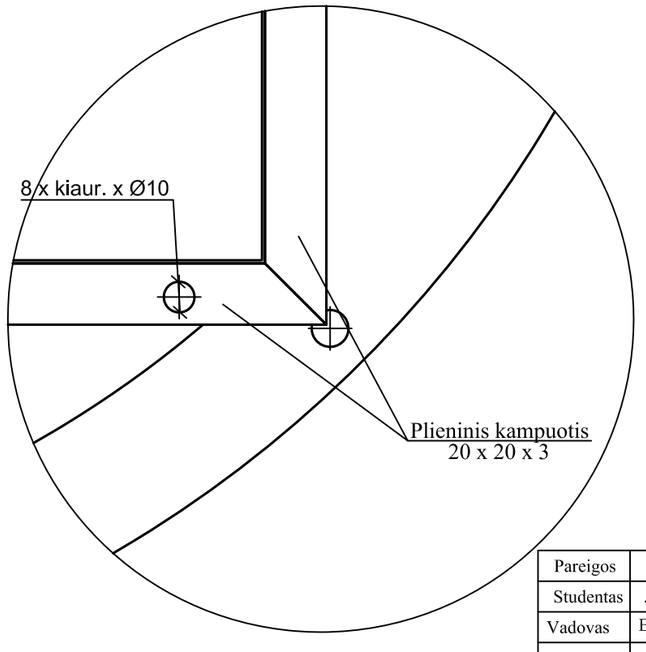
Detalė Nr. 5
M 1:10







Mazgas A
M 1:2



Pareigos	Pavardė	Parašas	Data	Detalė Nr. 5 (Difuzorius) M 1:10	
Studentas	Juozas Bielskus				
Vadovas	E. Juodis				
VGTU, AIF, Pastatų energetikos katedra					Lapas / Lapų

Priedas A

MOKOMASIS AERODINAMINIS VAMZDIS

Juozas Bielskus
magistrantas
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
el. : juozas.bielskus@vgtu.lt

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjamas mokomasis aerodinaminis vamzdis, su kuriuo bus galima atlikti laboratorinius darbus ir nesudėtingus mokslinius tyrimus. Aptariama aerodinaminio vamzdžio reikšmė studentams, Lietuvos ūkiui ir aplinkosaugai. Taip pat pateikiama, kokius bandymus bus galima atlikti Pastatų energetikos katedroje (PEK) su aerodinaminiu vamzdžiu. Peržvelgta laboratorijos įrangos gamintojų – Aerolab, G.u.n.t, Armfield, Stirolab, GDJ Inc mokamieji aerodinaminiai vamzdžiai ir projektavimo rekomendacijos, kurios pateiktos literatūroje. Atsižvelgus į minėtas rekomendacijas, buvo parinkti PEK aerodinaminio vamzdžio pagrindiniai parametrai ir papildomai pridėti triukšmo slopintuvai prieš ir po ventiliatoriaus.

Reikšminiai žodžiai: aerodinaminis vamzdis, aptekėjimas, sklidimas, teršalai.

Įvadas

Aerodinaminis vamzdis yra svarbi priemonė atliekant inžinerinius ir mokslinius tyrimus bei tikrinant kompiuterinių programų skaičiavimų patikimumą. Lietuvos ūkis ir aplinkosauga daug laimėtų, jei ne vien skaičiavimais, bet ir bandymais galėtų patikrinti teršalų sklidimo atvejus. Be abejo, ir būsimiesiems inžinieriams būtų naudinga tiriant įvairius oro srauto reiškinius. Aerodinaminio vamzdžio privalumas yra tas, jog eksperimentiniai bandymai atliekami gerai valdomoje srauto aplinkoje ir suteikia galimybę pamatyti vaizdžius oro judėjimo trajektorijų pasikeitimus, kai kelyje aptinkama kliūtis. Tyrimai realioje aplinkoje yra komplikuoti ir brangūs, be to, ne visada įmanomi.

Aerodinaminį vamzdį yra brangu įrengti, todėl juos keičia modeliavimas kompiuterine programa. Modeliuoti kompiuterine programa yra pigiau, paprasčiau, tai nereikalauja didelių patalpų ir nekelia triukšmo. Bet kompiuterinis modeliavimas ne visada galimas, nes kartais atsiranda tokių veiksnių, kurių programa negali nuspėti. Tada modeliavimas perkeliamas į aerodinaminį vamzdį.

Pastatų energetikos katedra neturi praktinės mokymo priemonės nustatant aerodinamines pastatų aptekėjimo, teršalų sklidimo savybes, todėl būtų naudinga suprojektuoti ir įrengti mažą aerodinaminį vamzdį. Numatoma, kad PEK projektuojamu aerodinaminiu vamzdžiu studentai (ir ne tik jie) atliks laboratorinius darbus ir mokslinius tyrimus, kurie susiję su srauto tekėjimo reiškiniais, pastatų aerodinaminėmis savybėmis, oro apykaita gatvėje tarp aukštų pastatų, teršalų sklidimu aplinkoje, gyvenvietėje.

PEK būsimas aerodinaminis vamzdis turės galimybę nustatyti:

- Slėgių pasiskirstymą pastato priekyje, užuovėjoje ir ant stogo;
- Pastato formos įtaką oro judėjimui, pvz.: namas su plokščiu arba šlaitiniu stogu;
- Oro cirkuliaciją ilgoje gatvėje tarp aukštų pastatų;
- Pramonės, šilumos gamybos, namų išmetamų teršalų sklidimą aplinkoje;
- Taip pat galima bus atlikti kvartalo, rajono ar net viso miesto apatinių oro sluoksnių judrumo ar teršalų sklidimo rajonuose tyrimą.

Atlikę šiuos bandymus, gautus rezultatus galėsime palyginti su kompiuterinės programos pateiktais rezultatais, taip pat patikrinti analitinius skaičiavimo metodus.

Aerodinaminio vamzdžio konstrukcija

Aerodinaminis vamzdis – tai įrenginys, kuris sukuria dirbtinį nusistovėjusį oro srautą, apiplaunantį tiriamojo modelio paviršių. Pirmasis aerodinaminis vamzdis sumontuotas 1871 m. (Francis Herbert Wenham), o po 31 m. pakilo pirmasis žmonijos sunkesnis už orą skraidymo įrenginys (Whirling Arms and the First Wind Tunnels. 2009. National aeronautics and space administration). Taigi aerodinaminis vamzdis išrastas buvo tam, kad padėtų žmogui skraidyti, o vėliau pritaikytas ir kitose srityse

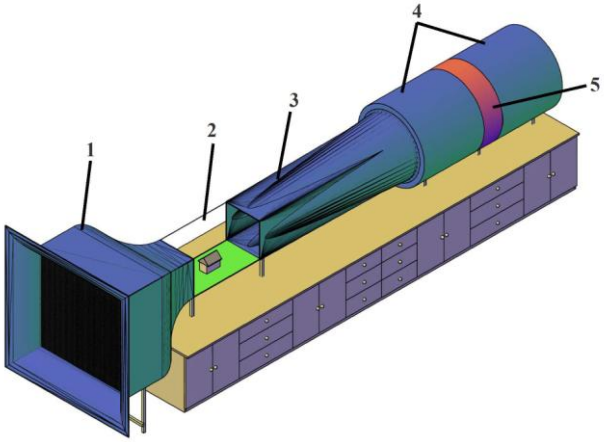
© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2011

(pastatų aerodinaminėms savybėms, teršalų sklidimui tirti ir t. t.). Aerodinaminiai vamzdžiai gali būti klasifikuojami pagal srauto greitį: mažo greičio, transgarsiniai, viršgarsiniai, ultragarsiniai ir pagal grandines: atvirojo ir uždarojo tipo grandines (Lindgren, B.B. 2002: 47).

Atvirojo tipo aerodinaminiai vamzdžiai dažniausiai būna nedidelių matmenų. Jie naudojami mažose laboratorijose, nedideliems moksliniams tyrimams, kurie nereikalauja itin tikslių rezultatų ir (ar) demonstraciniams bandymams. Uždarojo tipo būna įvairių matmenų. Jie naudojami mažose ir didelėse laboratorijose.

Visgi uždarojo tipo aerodinaminis vamzdis yra pranašesnis už atvirojo, nes energijos suvartojimas, hidrauliniai nuostoliai ir triukšmo lygis yra mažesni. Pagrindinis atvirojo tipo vamzdžio privalumas yra mažesnis patalpos erdvės ir išlaidų poreikis jį įrengiant. Taip pat mažesnė įtaka rezultatams dėl temperatūros pokyčių (patalpos tūris daug didesnis negu aerodinaminio vamzdžio) ir ventiliatoriaus įrengto vamzdžio gale, veikimui nedaro įtakos sutrikdytas srautas iš darbinės kameros (Bell 1989: 372–374). PEK atsižvelgiant į kainą ir kitus privalumus bus projektuojamas mažo greičio atvirojo tipo aerodinaminis vamzdis. 1 pav. pateikiama, kaip gali atrodyti aerodinaminis PEK katedros vamzdis.

Prieš apžvelgdami aerodinaminių vamzdžių projektavimo rekomendacijas trumpai apžvelgsime laboratorinės įrangos gamintojų mokamuosius aerodinaminius vamzdžius. Šie gamintojai yra „Aerolab“ (Aerolab) (Educational wind tunnel. 2010. Aerolab), „G.u.n.t.“ (HM-170) (Hm-170 educational wind tunnel. 2005. G.u.n.t.) , „Armfield“ (C2, C15) (C2, C15 Subsonic wind tunnel. 2006 Armfield), „Stirolab“ (WT.3000) (WT.3000 Subsonic wind tunnel. Stirolab Material testing technology), „GDJ Inc.“ (Flotek 1440) (Flotek 1440 Subsonic wind tunnel. 2008. GDJ Inc.). Beveik visų gamintojų aerodinaminių vamzdžių prieškamerio skerspjūvis yra kvadrato formos, išsiskiria tik „Armfield“ (C2) (aštuoniakampio) ir „Stirolab“ (apskritimo), o susiaurėjimo kanalo santykis 9:1 ir daugiau, išskyrus HM-170 (3:1) ir C2 (4:1). Srautą tiesinančios grotelės visų šių vamzdžių yra korio tipo ir pagamintos iš aliuminio arba plastiko. Darbinės kameros yra pagamintos iš skaidraus stiklo ir pritaikytos lengvai įdėti ir (ar) pasukti bandomąjį modelį, dydžiai panašūs, bet „GDJ Inc.“ gamintojų darbinė kamera išsiskiria savo ilgiu. Paminėtų aerodinaminių vamzdžių konstrukcijos yra pagamintos iš plieno, išskyrus C2 (iš stiklo pluošto), o ventiliatoriai pagaminti iš aukštos kokybės medžiagų. Visi vamzdžiai turi reguliuojamo greičio variklius, kurie turi dažnio keitiklius ir valdo ventiliatorių srautą. Iš visų gamintojų tik „Aerolab“ gamintojas pateikė aerodinaminį vamzdį su sumažintu triukšmo lygiu ir didžiausiu oro srauto greičiu (iki 65 m/s).



1 pav. PEK aerodinaminio vamzdžio sudedamosios dalys: 1 – prieškameris, 2 – darbinė kamera, 3 – platėjimo difuzorius, 4 – triukšmo slopintuvai, 5 – ventiliatorius

Darbinė kamera. Šioje kameroje statomas bandomasis objektas, tada į jį pučiama dirbtinė oro srovė ir atliekami tyrimai. Atvirojo tipo darbinės kameros retai naudojamos, nes jos yra priklausomos nuo aplinkoje vykstančių veiksnių, o uždara darbinė kamera – apsaugota nuo aplinkos veiksnių. Darbinės kameros forma priklauso nuo individualių reikalavimų, bet dažniausiai pasitaikančios darbinės kameros yra uždarojo tipo, pagamintos iš skaidrių medžiagų ir stačiakampio skerspjūvio formos. Ji turėtų būti pakankamai ilga, bet ne per daug, nes atsiras nepageidaujamas pasienio sluoksnio augimas, tai pat ją turi būti lengva pakeisti ar pasukti bandinį. Aerodinaminis vamzdis pradedamas projektuoti nuo darbinės kameros. Darbinės kameros dydis turi įtakos Reinoldso skaičiui ir dažniausiai nusako reikalingas investicijas būsimam vamzdžiui (Bell 1989: 372–374; Plėta 2010: 64).

PEK aerodiminio vamzdžio darbinė kamera bus kvadrato skerspjūvio kurio matmenys yra 500 x 500 x 1000 (aukštis x plotis x ilgis). Kvadrato skerspjūvis pasirenkamas dėl patogumo pastatant modelius, didesnio pastatymo ploto ir aukščio. Darbinės kameros matmenys parinkti taip, kad būtų patogu atlikti bandymus su didesniais modeliais, o ilgis pasirenkamas, kad būtų patogu stebėti teršalų sklidimą ilgą gatve ir pan.

Prieškameris. Aerodinaminio vamzdžio dalis, susidedanti iš kolektoriaus (būna prieš srautą tiesinančias groteles), srauto stabilizavimo srities ir susiaurėjimo kanalo. Siaurėjimo kanalas geriausias, kai yra varpo formos – taip padedama sukurti vienodą oro srautą. Susiaurėji-

mas padidina vidutinį oro srauto greitį, todėl srautą tiesinančios grotelės ir ekranai montuojami mažo greičio zonoje – srauto stabilizavimo srityje, taip sumažinami slėgio nuostoliai. Susiaurėjimo kanale įmanoma išvengti srauto atsiskyrimo, kai šis kanalas labai pailginamas, bet gamybos kaina ir pasienio sluoksnio storis padidėja. Susiaurėjimo kameros didelis susitraukimo santykis yra palankus, bet tai reiškia didesnes pagaminimo išlaidas. Naudojamas nedideliuose aerodinaminiuose vamzdžiuose susiaurėjimo santykis yra tarp 6 ir 9. Prieškamerio skerspjūvio forma gali būti kvadrato, apskritimo ar aštuonkampio (Bell 1989: 372–374; Plėta 2010: 64).

PEK projektuojamo aerodinaminio vamzdžio prieškamerio skerspjūvio forma bus kvadratinė, nes paprasčiau pagaminti. Prieškamerio susitraukimo santykis 7,5:1 (t. y. skerspjūvio plotas srauto stabilizavimo srityje – 1,875 m^2). Šis santykis pasirenkamas, nes įrengimo išlaidos mažesnės ir pasiekiami mažesni slėgio nuostoliai, kai oro srautas teka per tiesinančias groteles ir ekranus. Susiaurėjimo kanalas nebus labai pailgintas, norint išvengti nepageidautino pasienio sluoksnio padidėjimo.

Srautą tiesinančios grotelės. Šių grotelių paskirtis – sumažinti oro srauto sūkurius t. y. iš turbulentinio tekėjimo pereiti į laminarinį. Grotelių būna įvairių formų: kvadratinių, trikampių, korio tipo. Kvadratinės ir trikampės tiesinančios grotelės parenkamos dėl gamybos paprastumo, bet dažniausiai pasitaikančios – korio formos. Atlikti tyrimai parodė, kad korio tipo grotelės veiksmingiausiai mažina oro srauto sūkurius, kai narvelių ilgis mažiausiai 6–8 kartus didesnis už jų skersmenį. Srautą tiesinančios grotelės gali būti gaminamos iš plastiko, aliuminio ir kt. Aliuminio grotelės yra tikslesnės ir naudojamos aukštos kokybės aerodinaminiams vamzdžiams ir ten kur tikimasi didelių oro srauto apkrovų (Bell 1989: 372–374).

Būsimame PEK vamzdyje srautą tiesinančios grotelės bus kvadratinio tipo, o narvelių ilgis bus 8 kartus didesnis už jų skersmenį (8,5 mm narvelio kraštinės ilgis, o narvelio ilgis 70 mm) . Šio tipo grotelės buvo pasirinktos todėl, kad jas pagaminti paprasčiau ir pigiau negu korio tipo.

Ekranai. Ekranai paprastai būna pagaminti iš metalinio tinklelio, kvadrato ar stačiakampio formos akių. Ekranai gali būti audžiami iš nailono, polisterolio siūlų ir kt. medžiagų, o kai apkrovos būna labai didelės gaminami iš plieno ar žalvario. Ekranų paskirtis yra išlyginti oro srautą (sumažinti turbulenciją) ir sumažinti pasienio sluoksnio storį. Ekranai dažniausiai montuojami išlyginimo kameroje. Montuojami du ekranai, vienas nuo kito nutolę mažiausiai 0,2 nusodinimo kameros skersmens. Šis atstumas reikalingas tam, kad nusistovėtų po pirmojo ekrano sutrikdytas srautas (Lindgren 2002: 47; Bell 1989: 372–374).

PEK vamzdyje numatomi du plieniniai kvadratinių akių ekranai, kurio akies matmenys yra 6 x 6 mm.

Difuzorius. Jis įrengtas iškart po darbinės kameros. Difuzoriaus pradžios skerspjūvis būna kaip ir darbinės kameros, o pabaigos – dažniausiai apvalus. Difuzoriaus platėjimo kampas dažniausiai neviršija 5º (pasiekiamas geriausias srauto išėjimo stabilumas, o geriausias slėgio panaudojimas pasiekiamas, kai difuzoriaus platėjimo kampas yra apie 10º), o ploto santykis išėjime ir įėjime – 2:5. Difuzoriuje srauto greitis krenta, o slėgis didėja – taip pasiekiami mažesni slėgio nuostoliai difuzoriuje ir garantuojamas mažesnis energijos suvartojimas (Bell 1989: 372–374).

Būsimojo PEK vamzdžio difuzoriaus įėjimo skerspjūvis bus kaip darbinės kameros, o išėjimo skerspjūvis pritaikomas prie ventiliatoriaus skerspjūvio apskritimo, kurio skersmuo – 0,9 m. Difuzoriaus platėjimo kampas 5º, šie difuzoriaus parametrai pasirinkti, nes pasiekiamas geriausias oro srauto stabilumas ir mažesnis energijos suvartojimas.

Apsauginis tinklas. Jis įrengtas prieš ventiliatorių. Jo paskirtis – apsaugoti ventiliatorių nuo bandomo modelio atsiskyrusių dalių nuo (Bell 1989: 372–374; Plėta 2010: 64).

Projektuojamame aerodinaminiame vamzdyje apsauginis tinklas pasirinktas plieninis, kad patikimai apsaugotų ventiliatorių nuo atsiskyrusių tiriamojo modelio dalių.

Ventiliatorius. Ventiliatoriaus tikslas – sukelti oro srautą darbinėje kameroje. Aerodinaminiuose vamzdžiuose naudojami ašiniai ir išcentriniai ventiliatoriai, bet atvirojo tipo aerodinaminiuose vamzdžiuose dažniausiai naudojamas ašinis ventiliatorius. Didelės galios ventiliatoriai turėtų būti montuojami su antivibracinėmis jungtimis, siekiant sumažinti vibracijas vėjo tunelyje (Bell 1989: 372–374; Tatman 26).

PEK aerodinaminiame vamzdyje srautą sukurs ašinis ventiliatorius.

Ventiliatoriaus srauto lygintuvai. Lygintuvai įrengiami iškart po ventiliatoriaus. Jų funkcija yra pašalinti sūkurius ir sumažinti triukšmo lygį, kuriuos sukelia ventiliatorius (Lindgren 2002: 47; Plėta 2010: 64).

Taigi iš rekomendacijų ir laboratorijos įrangos gamintojų pateikiamos produkcijos galime spręsti, kad gamintojai ne visų rekomendacijų laikosi, o yra tyrimais nustatę, kas yra jų gaminamo tipo aerodinaminiam vamzdžiui tinkamiausia. Visgi atvirojo tipo aerodinaminio vamzdžio didelis trūkumas yra jų keliamas triukšmas. Norint sumažinti PEK aerodinaminio vamzdžio triukšmą

tiek, kad patalpoje esantiems tyrėjams ir gretimose patalpose esantiems žmonėms netrukdytų keliamas triukšmas, prieš ir po ventiliatoriaus montuojami cilindriniai triukšmo slopintuvai, o ventiliatoriaus korpusas yra izoliuojamas triukšmą slopinančia medžiaga (1 pav).

Išvados

Rasta, kad gali būti įrengtas priimtinų matmenų, energijos poreikio, keliamo triukšmo lygio ir pakankamų aerodinaminių charakteristikų mokymo tikslams ir pradiniams moksliniams-praktiniams aerodinaminiams tyrimams aerodinaminis vamzdis.

Konstruojant aerodinaminį vamzdį, palyginti su žinomomis konstrukcijomis, atlikti patobulinimai, lengvinantys tyrėjų darbo sąlygas.

Padėkos

Dėkoju prof. dr. Egidijui Juodžiui už pagalbą rengiant straipsnį.

Literatūra

Educational wind tunnel [interaktyvus]. 2010. Aerolab [Žiūrėta 2011 m. sausio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.aerolab.com/>.

C2 Subsonic wind tunnel [interaktyvus]. 2006. Armfield [Žiūrėta 2011 m. sausio 21 d.] Prieiga per internetą: <http://www.discoverarmfield.co.uk/data/c2/#orderspec>.

C15 Subsonic wind tunnel [interaktyvus]. 2006. Armfield [Žiūrėta 2011 sausio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.discoverarmfield.co.uk/data/c15/>.

Bell, J. H.; Mehta, R. D. 1989. Boundary – Layer Predictions for Small Low – speed Contractions. Washington: L'enfant promenade. 372–374.

Flotek 1440 Subsonic wind tunnel [interaktyvus]. 2008. GDJ Inc [Žiūrėta 2011 m. sausio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.gdjinc.com/windtunnels/wind3.html>.

Hm-170 educational wind tunnel [interaktyvus]. 2005. G.u.n.t. [Žiūrėta 2011 m. sausio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.gunt.de/static/s3399_1.php?p1=&p2=&pN=;;#>.

Lindgren, B. B.; Johansson, A. V. 2002. Design and evaluation of a low-speed wind-tunnel with expanding corners. Stockholm. 47 p.

Plėta, V. 2010. Bakalauro darbas: Mokomojo aerodinaminio vamzdžio projektas. 64 p.

WT.3000 Subsonic wind tunnel [interaktyvus]. Stirolab Material testing technology [Žiūrėta 2011 m. sausio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.stirolab.com/en/subsonic-wind-tunnel.html>.

Tatmant, N. Wind Tunnel Design and Operation. 26 p.

Whirling Arms and the First Wind Tunnels. [interaktyvus].2009. National aeronautics and space administration [Žiūrėta 2011 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/WindTunnel/history.html>.

Wind tunnel. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2011m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_tunnel>.

EDUCATIONAL WIND TUNNEL

J. Bielskus

Summary

In this article the educational wind-tube is analyzed. With its help laboratory works or simple scientific researches can be carried out. Importance of such wind-tube for students, Lithuania's economics and environment is discussed. Also, kinds of experiments, which can be done with educational wind-tube in Department of Building Energetics (PEK), are pointed out. A review of various laboratory equipment manufacturers – Aerolab, G.u.n.t, Armfield, Stirolab, GDJ Inc – educational laboratory wind-tubes and designing recommendations are made. According mentioned recommendations, the main parameters of PEK educational wind-tube were chosen. Additionally, noise silencers were designed before and after the fan.

EKONOMINIS VĖDINIMO SISTEMOS SU TRIŠAKIAIS SMAILIU IR STAČIU KAMPU PALYGINIMAS

Juozas Bielskus[1], Egidijus Saulius Juodis[2]
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
el. p. juozas.bielskus@vgtu.lt[1]; egidijus.juodis@vgtu.lt[2]

Anotacija. Straipsnyje palyginami energijos poreikiai ir išlaidos administracinio pastato vėdinimo tiekiamajam ir ištraukiamajam ortakynui, kai oro srautas atsišakoja/susilieja 90° ir 30° kampu. Įvertintas sistemos su trišakiais smailiu kampu atsiperkamumas per 30 metų, atsižvelgus į oro srauto tiekimui/šalinimui reikalingą ventiliatoriaus galią, elektros energijos ir trišakių kainas. Energetiškai efektyvesnė sistema yra su atsišakojimais 30° kampu. Lyginant ortakių tinklą pagal išlaidas jam įrengti ir eksploatuoti nustatyta, kad ekonomiškai efektyvesnė yra sistema su 90° atsišakojimais.

Reikšminiai žodžiai: vėdinimo sistema, ortakiai, trišakiai.

Įvadas

Vėdinimo sistema leidžia patalpose palaikyti higienines oro sąlygas, t. y. aplinką, kurioje žmogus gerai jaustųsi ir būtų darbingesnis. Tačiau vis didėjančios elektros energijos kainos verčia ieškoti energetiškai efektyvesnių vėdinimo sistemos konstrukcijų. Vienas iš galimų konstrukcinių sprendimų yra pakeisti oro srauto atsišakojimus trišakiuose stačiu kampu į sklandų atsišakojimą 30° kampu – tai sumažintų elektros energijos suvartojimą. Kai atsišakojimas yra sklandus, tada slėgio nuostoliai mažėja, o nuo jų priklauso ventiliatoriaus galia ir elektros energijos suvartojimas.

Šiame straipsnyje energetiškai ir ekonomiškai lyginama vėdinimo sistema (tiekiamoji ir ištraukiamoji), kai oro srautas atsiskiria/susilieja 90° ir 30° kampu. Taip pat bandoma lyginti, kai tiekiamosios sistemos oro srautas atsiskiria 90°, o ištraukiamosios sistemos oro srautas susilieja 30° kampu ir atvirkščiai.

Vertinimo metodika ir prielaidos

Metodika

Aerodinaminiams nuostoliams skaičiuoti pasirinktas pilnutinio slėgio metodas Ši metodika yra universali, be to, galima gauti įvairius efektyvumo rezultatus, priklausomai nuo to, kokius greičius pasirinko konstruktorius. Pilnutinio slėgio nuostoliai išreiškiami (1) formule:

$$p = \sum_{1}^{n} \left(R \cdot l + Z \right), Pa \qquad (1)$$

čia: R – trinties slėgio nuostoliai, Pa/m;

l – ortakio ilgis, m;

Z – slėgio nuostoliai vietinėse kliūtyse, Pa.

Slėgio nuostoliai vietinėse kliūtyse apskaičiuojami pagal (2) formulę:

$$Z = \sum \xi \cdot p_{din}, Pa \qquad (2)$$

čia: $\sum \xi$ – skaičiuojamojo ruožo vietinių kliūčių pasipriešinimo koeficientų suma;

p_{din} – dinaminis slėgis nagrinėjamame ruože, Pa.

Naudojantis Juodžio (2009) vadovėliu nustatomi slėgio nuostolių koeficientai vietinėse kliūtyse (alkūnėse, susiaurėjimuose, išplatėjimuose) o trinties nuostoliai spiraliniuose ortakiuose trišakių su atsišakojimais 90º ir 30º kampu pasipriešinimo koeficientai imami iš vadovo „*CIBSE Guide C*“) (The Chartered Institution of Building Services Engineers).

Vėdinimo sistemai reikalinga ventiliatoriaus galia vertinama pagal tolimiausios atšakos su didžiausiais slėgio nuostoliais ir tiekiamo/šalinimo oro kiekį. Reikiamo oro kiekio tiekimui/ištraukimui reikalinga ventiliatoriaus galia skaičiuojama pagal (3) formulę:

$$P = \frac{p \cdot L}{\eta_{vent} \cdot \eta_{pavaros} \cdot \eta_{\text{var}}} \cdot 10^{-3}, kW \qquad (3)$$

čia: p – tiekiamosios/ištraukiamosios vėdinimo sistemos aerodinaminis pasipriešinimas, kPa;

L – tiekiamo/šalinamo oro srauto debitas, m^3/h;

η_{vent}, $\eta_{pavaros}$, η_{var} – ventiliatoriaus, pavaros ir variklio naudingumo koeficientai.

Prielaidos

Atliekant vertinimą yra priimamos šios prielaidos:

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2012

– Nagrinėjamas tik vėdinimo sistemos ortakynas iki vėdinimo agregato, nes visais nagrinėjamais atvejais tiekimo oro kiekis išlieka toks pats;
– vertinami slėgio nuostoliai dėl trinties ir vietinių kliūčių (alkūnėse, balniniuose trišakiuose, difuzoriuose, susiaurėjimuose ir išplatėjimuose).

Analizės objektas

Vertinimui pasirinkta tiekiamoji ir ištraukiamoji koridorinio išplanavimo administracinio pastato pastovaus srauto vėdinimo sistema su 90° ir 30° atsišakojimais. Vėdinimo sistema tiekia 3144 m^3/h ir šalina 3144 m^3/h oro kiekį. Tiekiamąją vėdinimo sistemą sudaro viena magistralė su dvidešimčia atšakų, o ištraukiamoji yra analogiška tiekiamajai.

Vertinama trišakių konstrukcija, kai atšaka yra jungiama per balnelį. Balnelio konstrukcija 90° ir 30° kampu pateikta toliau esančiame paveiksle (Komfovent 2011).



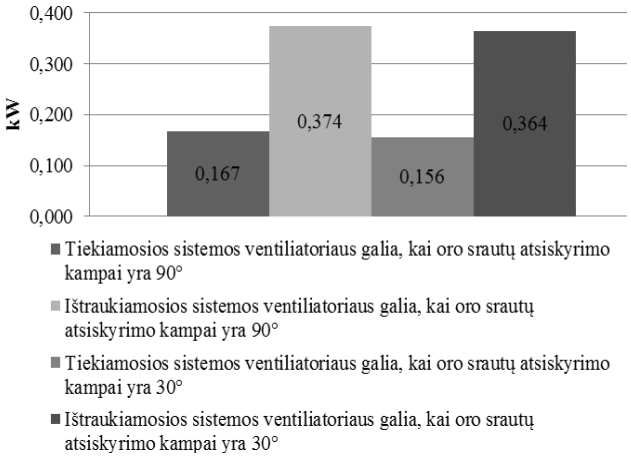
1 pav. Balnelio konstrukcija: kairėje 90°, dešinėje 30°.

Priimamos prielaidos:

– vėdinimo sistemos tarnavimo laikas priimamas 30 metų (EN 15459:2006);
– ekonominiame vertinime priimta diskonto norma yra lygi 8 %;
– ekonominiam vertinimui numatoma, kad vėdinimo sistema veiks 261 dieną per metus, 12 valandų per parą;
– ventiliatoriaus naudingumo koeficientas – 0,7, pavaros naudingumo koeficientas – 0,98 ,o variklio naudingumo koeficientas – 0,9;
– elektros energijos kaina – 37 ct/kWh be PVM, o jos metinis pabrangimas priimamas 1 %.

Rezultatai

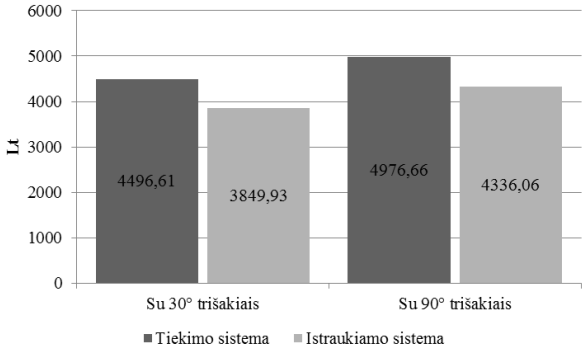
Toliau esančiame paveiksle (2 pav.) pateiktas grafikas, kuriame nurodomos tiekiamosios ir ištraukiamosios sistemų ventiliatorių galios orui transportuoti ortakiais, kai atsišakojimo kampai skirtingi.



2 pav. Tiekiamosios ir ištraukiamosios sistemų ventiliatorių galios

Iš 2 paveikslo matyti, kad tiekiamosios ir ištraukiamosios sistemos ventiliatorių galios yra mažesnės, kai atsišakojimai yra 30°. Tiekiamosios sistemos galia yra 7 % mažesnė, kai atsišakojimas yra 30° kampu palyginti su 90° kampo atsišakojimais, o ištraukiamosios sistemos galia yra 2,5 % mažesnė, kai atsišakojimas yra 30° palyginti su 90° kampu. Tokį nedidelį skirtumą lemia30° ir 90° kampu pasipriešinimo panašumas.

Vertinant ekonomiškai reikia rasti, kiek sistema su 30° atšakomis yra brangesnė už sistemą su 90°. Toliau pateiktame paveiksle yra pateiktos sistemų kainos nagrinėjamuoju atveju.

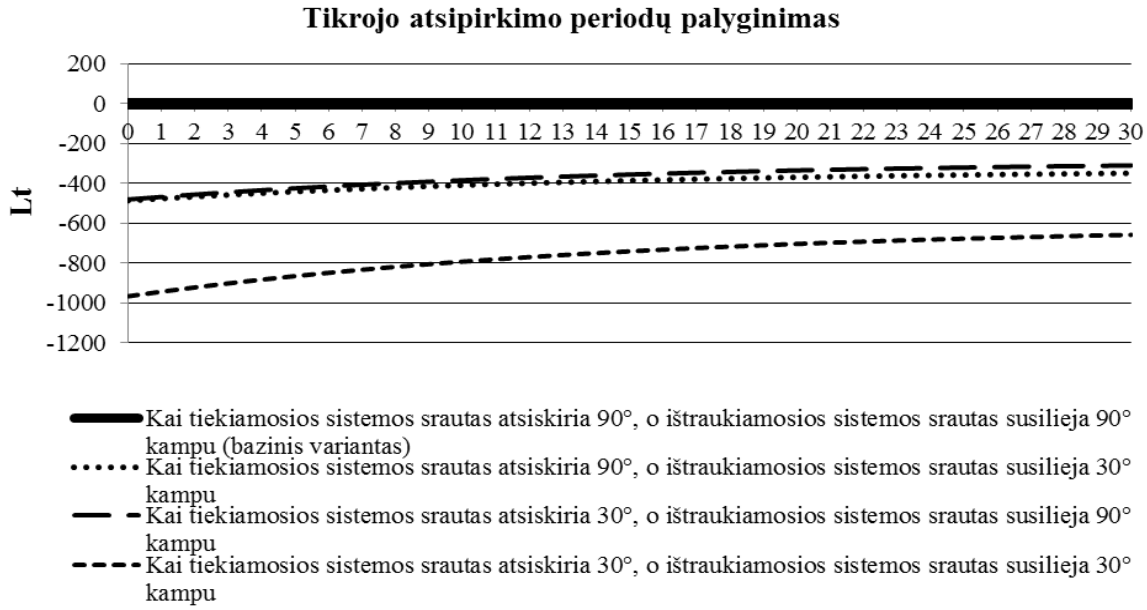


3 pav. Tiekiamosios ir ištraukiamosios sistemų ortakių kainos

3 paveiksle matyti, kad sistemos su 30° atsišakojimais yra brangesnės 11 %, negu įprastos sistemos su 90° atsišakojimais (elementų kainos vertinamos be pridėtinės vertės mokesčio (PVM)). Šiose kainose yra įvertinti visi elementai, kurie reikalingi patikimam sistemos veikimui, išskyrus sistemos montavimo darbų išlaidas.

Iš antrojo paveikslo matyti, kad sistema su sklandžiu (30° kampu) atsišakojimu yra brangesnė, todėl vertinama, ar šios brangesnės sistemos energijos sutaupymai gali padengti papildomas išlaidas įrengiant šią sistemą. Šis vertinimas atliekamas įvertinus, kad sistemos atsipirkimo laikas – 30 metų (EN 15459:2006). 3 paveiksle lyginama ištraukiamoji ir tiekiamoji vėdinimo sistema su 90° atsišakojimais (bazinis variantas) su tiekiamąja ir ištraukiamąją sistema, kurios atsišakojimai yra 30°.

Bazinis variantas taip pat lyginamas su mišria vėdinimo sistema, kai oro srautas atsiskiria 90° kampu, o susilieja 30° kampu ir atvirkščiai.



4 pav. Vėdinimo sistemos tikrojo atsipirkimo vertinimas

4 paveiksle ant abscisių ašies yra pateiktas vertinimo laikotarpis, o ant ordinačių ašies – sistemų kainų skirtumas. Iš šių kreivių matyti, kad nė vienas vertintas variantas nėra ekonomiškai atsiperkantis palyginanti su standartine vėdinimo sistema, kai srautas atsišakoja/susilieja 90° kampu. Neatsiperka todėl, kad investicijos yra didesnės už sutaupymus, įdiegus vėdinimo sistemą su 30° atšakomis. Mišrios sistemos (kai tiekiamosios sistemos srautas atsiskiria 90°, ištraukiamosios sistemos srautas susilieja 30° kampu ir atvirkščiai) investicijos taip pat yra didesnės už sutaupymus.

Rezultatų aptarimas

Slėgio nuostoliai trišakių atšakose stačiu kampu neabejotinai didesni už nuostolius oro srautams susiliejant ar išsiskiriant smailiu kampu. Todėl yra siūlymų vietoje konstrukciškai patogių ir pigesnių T pavidalo trišakių naudoti brangesnius trišakius smailiu kampu. Tikimasi, kad per sistemos gyvavimo ciklą išlaidų energijai sutaupymas kompensuos ir viršys padidintas išlaidas ortakiams, deja, atlikta analizė to nepatvirtina.

Analizuojant abu trišakių variantus priimtas palankus išlaidų energijai atsipirkimo variantas, kai vėdinimo sistema veikia kiekvieną darbo dieną po 12 valandų per parą. Energijos poreikis sumažėja nežymiai. Realiai tikėtina, kad darbo trukmė bus dar trumpesnė, pavyzdžiui, šiltuoju metų laiku, kai lauko oro temperatūra palanki, galima panaudoti natūralų vėdinimą.

Pagrindinė priežastis, kodėl trišakių smailiu kampu atsiperkamumas nagrinėjamuoju atveju nepasitvirtino yra ta, kad slėgio nuostolius ortakyne lemia ne nuostoliai atšakose, o paskirstomajame ortakyje, t. y. nuostoliai paskirstomajame ortakyje nuo vėdinimo įrenginio iki tolimiausio oro sklaidymo ar ištraukimo antgalio.

Išvados

1. Suprojektavus tiekiamąją ir ištraukiamąją administracinio pastato vėdinimo sistemą pastebėta, kad ventiliatoriui reikalinga 7 % mažesnė galia srautui atsiskiriant ir 2,5 % mažesnė srautui susiliejant, kai atsišakojimo kampai yra 30°, palyginti su T pavidalo trišakiais.

2. Atlikus ekonominį vertinimą iš gautų rezultatų matyti, kad sistema su atsišakojimais 30° kampu ekono-

miškai nėra efektyvi. Investicijos į šią sistemą yra didesnės negu elektros energijos sutaupymai.

Literatūra

EN 15459:2006 „Energy Efficiency for Buildings – Standard economic evaluation procedure for energy systems in buildings“

The Chartered Institution of Building Services Engineers. 2007. Guide C. Great Britain: Page Bros. 228 p. ISBN 978-1-903287-80-4

Juodis, E. 2009. *Vėdinimas*. Vilnius: Technika. 397 p. ISBN 978-9955-28-370-6.

Komfovent. 2011. Kainynas [žiūrėta 2012 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą:
<http://www.komfovent.com/files/resources/kainynas/Kainynas_2011.pdf>

Lesto. Elektros energijos kaina [žiūrėta 2012 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą: < http://www.lrprezidentas.lt/node/320>.

Lietuvos bankų asociacija. Dėl diskonto normos [žiūrėta 2012 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą:
<http://www.regula.lt/lt/naujienos/2012/2012-01-24/Lietuvos_banku_asociacijos_atsakymas_del_diskonto_normos.pdf>.

Systemair. 2011. Kainynas [žiūrėta 2012 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą:
< http://www.systemair.com/lt/informacija/cc5ce14f-4c0d-4367-b2d6-a2bd699e78b0>

ECONOMICAL COMPARISON OF VENTILIATION SYSTEMS WITH SHARP AND RIGHT ANGLE BRANCH TEES

Juozas Bielskus, Egidijus Saulius Juodis

Summary

The energy demand and costs for air supply and exhaust ductwork of administration building ventilation system, when the air flow branches off/ combines in 90° and 30° angle are compared in this article. The payback time of the system with an acute angle tees in 30 years, taking into account the power of fans for supplying and exhausting air flow, also market prices of tees and electricity is evaluated. It was found that the system with 30° angled branch is more energy efficient than 90° angled branch. Comparing the costs of duct networks for its installation and operation was found that the system with 90° branch is more cost effective.