

UNIVERZA V NOVI GORICI
POSLOVNO-TEHNIŠKA FAKULTETA

**IZKORIŠČANJE ODPADNE TOPLOTE ŽARILNIH
PEČI ZA OGREVANJE PROIZVODNE HALE**

DIPLOMSKO DELO

Dean Sulič

Mentor: doc. dr. Henrik Gjerkeš

Nova Gorica, 2008

ZAHVALA

Posebej se zahvaljujem doc. dr. Henriku Gjerkešu za podane smernice ob snovanju diplomske naloge in pomoč pri preračunavanju toplotnih izgub proizvodne hale. Nadalje se zahvaljujem Borisu Brezigarju, projektantu tehnologije v Iskri Avtoelektriki, za posredovanje izkušenj pri delovanju tehnoloških procesov na področju hladnega preoblikovanja materiala in termične obdelave jekla.

IZVLEČEK

V proizvodni hali podjetja Iskra Avtoelektrika potekajo tehnološki procesi termične obdelave neprekinjeno 24 ur na dan. Pri tem se pojavljajo trije viri odpadne toplote: toplota dimnih plinov, toplota zraka iz ohlajevalnih komor in toplota zraka v delovnih jamah. Z meritvami procesnih parametrov in temperature odpadnega zraka smo določili, da je toplota zraka ohlajevalnih komor najustreznejši vir odpadne toplote. Izračunali smo toplotne potrebe za ogrevanje proizvodne hale v skladu s standardom SIST EN ISO 6946. Rezultate izračuna smo verificirali s pomočjo podatkov o porabi zemeljskega plina v kurilni sezoni 2005/2006. V predlaganem sistemu za izkoriščanje toplote odpadnega zraka smo izbrali križne ploščne prenosnike toplote, v katerih topel odpadni zrak segreva hladen dovodni zrak iz okolice hale. Pri projektnih pogojih znaša toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale 560 kW. Z razpoložljivim odpadnim toplotnim tokom iz žarilnih peči pokrijemo 79,39 % potrebnega toplotnega toka za ogrevanje. Razliko 21,61 % bi v ekstremnih pogojih zagotovili iz obstoječega sistema centralnega ogrevanja. Izvedli smo analizo podatkov iz zadnjih 28 kurilnih sezon, ki je pokazala, da so bile povprečne temperature zraka v Novi Gorici znatno višje od projektnih. Pokazali smo, da je pri upoštevanju realnih podatkov o povprečni temperaturi in temperaturnem primanjkljaju na razpolago dovolj toplote in toplotnega toka za 100 % pokrivanje potreb za ogrevanju proizvodne hale s predlaganim sistemom za izkoriščanje toplote odpadnega zraka iz procesa termične obdelave.

KLJUČNE BESEDE

ogrevanje, toplotne izgube, odpadna toplota, prenosnik toplote, toplotna obdelava

ABSTRACT

In the manufacturing hall of the enterprise Iskra Avtoelektrika the technological processes of heat treatment are performed 24 hours a day unintermittent. During that three sources of waste heat appear: heat of the chimney gases, heat of the cooling chambers' air, and heat of the working caves' air. With the measurements of the process parameters and the waste air temperature it was determined that the heat of the cooling chambers' air is the most appropriate source of waste heat. Heat required for heating the manufacturing hall was calculated in accordance with the SIST EN ISO 6946 standard. The calculation results were verified with the data of earth gas consumption in the heating season 2005/2006. In the proposed system for exploitation the waste air heat, the crossflow plate heat exchangers were chosen, in which warm waste air heats the cold inlet air from the hall surroundings. At the project conditions, the heat needed for the manufacturing hall heating amounts to 560 kW. With the available waste heat flux from the glow furnaces the 79.39 % of the required heating heat flux is covered. In extreme conditions, the difference of 21.61 % would be assured from the existent central heating system. The analysis of the data from the last 28 heating seasons was performed, which showed that the average air temperatures in Nova Gorica were considerable higher than those from project conditions. It was shown that when real data about average temperature and temperature deficiency are taken into consideration, there is enough heat and heat flux for 100 % coverage for heating needs of the manufacturing hall using the proposed system for exploitation the waste air heat from the thermal treatment process.

KEY WORDS

heating, heat losses, waste heat, heat exchanger, thermal treatment

KAZALO

1	UVOD.....	1
2	DEFINICIJA PROBLEMA.....	2
2.1	Vpliv zraka na človeka.....	2
2.2	Toplozračno ogrevanje prostorov.....	3
2.3	Sistem ogrevanja z izkoriščanjem odpadne toplote.....	3
3	PROIZVODNI PROCESI IN TEHNOLOGIJA V PROIZVODNI HALI.....	5
3.1	Tehnologija jamskih žarilnih peči.....	6
3.1.1	Povprečna zasedenost žarilnih peči po tehnoloških postopkih.....	6
3.2	Plinske peči PP – JVZA.....	8
4	OBSTOJEČI OGREVALNI SISTEM PROIZVODNE HALE.....	13
4.1	Sistem centralnega toplozračnega ogrevanja.....	13
4.2	Stroški ogrevanja proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006.....	14
4.3	Toplotne izgube proizvodne hale.....	15
4.3.1	Prenos toplote.....	15
4.3.2	Izračun toplotnih izgub proizvodne hale po standardu SIST EN ISO 6946.....	16
4.3.3	Izračun toplotnih izgub skozi stene proizvodne hale.....	17
4.3.4	Izračun toplotnih izgub skozi vrata proizvodne hale.....	18
4.3.5	Izračun toplotnih izgub skozi strop.....	19
4.3.6	Izračun toplotnih izgub skozi tla.....	20
4.3.7	Specifični transmisijski toplotni tok skozi zunanji ovoj stavbe.....	21
4.3.8	Skupni specifični transmisijski toplotni tok stavbe.....	21
4.4	Toplotna bilanca proizvodne hale.....	21
4.4.1	Specifični toplotni tok zaradi prezračevanja.....	22
4.4.2	Skupni toplotni tok stavbe.....	22
5	ANALIZA PORABLJENE TOPLOTE V KURILNI SEZONI 2005/2006 ZA OGREVANJE PROIZVODNE HALE.....	25
5.1	Ocena potrebne toplote za ogrevanje proizvodne hale.....	25
5.2	Dejansko porabljena toplota za ogrevanje proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006.....	26
5.3	Primerjava izračunane in dejansko porabljene toplote za ogrevanje proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006.....	27

6	MERITVE PROCESNIH PARAMETROV	28
6.1	Temperatura dimnih plinov pri peči PP-JZA 4700/1000.....	28
6.2	Temperatura prezračevalnega zraka ohlajevalnih komor	29
6.2.1	PP-JZA 9000/1000.....	30
6.2.2	PP-JZA 8000/1000.....	31
6.2.3	PP-JZA 4700/1000.....	32
6.3	Izbran vir odpadne toplote	33
7	IZKORIŠČANJE TOPLOTE ODPADNEGA TEHNOLOŠKEGA ZRAKA ZA OGREVANJE PROIZVODNE HALE.....	35
7.1	Glavni deli prenosnika toplote.....	35
7.2	Elementi za vključitev prenosnika toplote v ogrevalni sistem	36
7.3	Potrebni toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale pri projektnih pogojih	37
7.4	Potrebna toplota za ogrevanje proizvodne hale pri projektnih pogojih	38
7.5	Izračun parametrov prenosnika toplote.....	39
7.6	Razpoložljivi toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale z upoštevanjem projektnih pogojev	41
7.7	Razpoložljivi toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale z upoštevanjem realnih meteoroloških podatkov v preteklih kurilnih sezonah.....	42
7.8	Razpoložljiva toplota	43
8	UČINKI PREDLAGANE REŠITVE	45
8.1	Energetski učinki	45
8.2	Ekološki učinki	45
8.3	Ekonomski učinki	46
9	ZAKLJUČKI	49
10	LITERATURA	50

KAZALO SLIK

Slika 1: Relativna pogostost posameznih tehnoloških postopkov v proizvodnji.....	7
Slika 2: Žarilna peč z vstavljeno retorto	8
Slika 3: Modul za vpih zraka v delovno jamo	8
Slika 4: Modul za sesanje zraka iz delovne jame	8
Slika 5: Ohlajevalna komora.....	11
Slika 6: Ventilator in cevovod za odsesavanje zraka iz ohlajevalne komore	11
Slika 7: Primer procesnih parametrov žarilne peči tipa PP- JVZ	12
Slika 8: Grelnik zraka	13
Slika 9: Poraba zemeljskega plina po mesecih v sezoni 2005/2006.....	14
Slika 10: Prenos toplote skozi steno	15
Slika 11: Tloris proizvodne hale.....	16
Slika 12: Streha proizvodne hale	16
Slika 13: Potrebni celotni toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006	24
Slika 14: Primerjava izračunane in dejansko porabljene toplote v kurilni sezoni 2005/2006	27
Slika 15: Izmerjena temperatura dimnih plinov v prvi fazi tehnološkega postopka 13100029	29
Slika 16: Izmerjena temperatura dimnih plinov v drugi fazi tehnološkega postopka 13100029	29
Slika 17: Temperatura zraka v prezračevalni ventilaciji žarilne peči PP-JZA 9000/1000 med potekom tehnološkega postopka 13131006.....	30
Slika 18: Temperatura zraka v prezračevalni ventilaciji žarilne peči PP-JZA 8000/1000 med potekom tehnološkega postopka 13100029	31
Slika 19: Temperatura zraka v prezračevalni ventilaciji žarilne peči PP-JZA 4700/1000 med potekom tehnološkega postopka 13900054.....	32
Slika 20: Povprečna temperatura prezračevalnega zraka v ohlajevalnih komorah posameznih tipov žarilnih peči	33
Slika 21: Ohišje prenosnika toplote	35
Slika 22: Križni ploščni prenosnik toplote	35
Slika 23: Kanalski ventilator.....	36
Slika 24: Pocinkani kanali	37
Slika 25 : Stropni distributer zraka	37
Slika 26: Elektronski regulator pretoka zraka.....	37
Slika 27: Program VING – Preračun ploščnih prenosnikov toplote s križnim tokom	40

KAZALO TABEL

Tabela 1: Prikaz tehnoloških postopkov po fazah žarjenja.....	7
Tabela 2: Podatki o ventilatorju za dimne pline	11
Tabela 3: Podatki o ventilatorju ohlajevalnih komor.....	11
Tabela 4: Tehnični podatki peči tipa PP- JVZ.....	12
Tabela 5: Cena porabljenega zemeljskega plina v sezoni 2005/2006	14
Tabela 6: Podatki o velikosti površin	16
Tabela 7: Povprečna mesečna temperatura in toplotni tok za pokrivanje toplotnih izgub proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006.....	23
Tabela 8: Potrebni celotni toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006.....	23
Tabela 9: Temperaturni primanjkljaj in število kurilnih dni za kurilno sezono 2005/2006	25
Tabela 10: Izračun potrebne toplote po kurilnih mesecih v sezoni 2005/2006	26
Tabela 11: Dejansko porabljena toplota za ogrevanje proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006	27
Tabela 12: Parametri izbranega ploščnega prenosnika toplote za peč tip PP-JZA 9000/1000	40
Tabela 13: Parametri izbranega ploščnega prenosnika toplote za peč tip PP-JZA 4700/1000	40
Tabela 14: Parametri izbranega ploščnega prenosnika toplote za peč tip PP-JZA 8000/1000	41
Tabela 15 : Razpoložljive moči vseh treh prenosnikov toplote ob projektnih pogojih	41
Tabela 16: Dejanski potreben toplotni tok v kurilnih sezonah	42
Tabela 17: Potencial za zmanjšanje emisij, ki so nastale pri zgorevanju zemeljskega plina v ogrevalni sezoni 2005/2006	45
Tabela 18: Denarni tok pred investicijo.....	46
Tabela 19: Denarni tok po investiciji z upoštevanjem projektnih pogojev	47
Tabela 20: Denarni tok po zaključeni investiciji hale z upoštevanjem realnih meteoroloških podatkov.....	48

1 UVOD

Povečevanje obremenjenosti okolja in omejenost energetskih virov sta ključna razloga za povečevanje prizadevanj za učinkovito rabo energije. Spoznanja o preveliki in nerazumni izrabi naravnih virov, potratni izrabi fosilnih goriv, elektrike in sploh vseh oblik energije čedalje globlje prodirajo v človekovo zavest¹. Živimo v času, ko je skrb za okolje ena najpomembnejših dejavnosti in ta odnos mora biti razpoznaven na vsakem koraku. Pomenu energije moramo dati velik poudarek, ne samo pri snovanju instalacij, ampak tudi pri iskanju arhitektonskih rešitev za objekte, kot so gradbena zasnova, izbira ustreznih gradbenih in izolacijskih materialov, stekel in zasenčitev². Dobre zasnove stavbe ter instalacij v njih lahko zmanjšajo rabo energije in s tem stroške za energijo, ne da bi s tem poslabšale človekovo počutje v njih.

Za prostor, v katerem se nahaja program Hladno kovani deli, bomo zasnovali kombiniran sistem ogrevanja, ki bo le delno povezan s centralnim ogrevanjem. V žarilnih pečeh poteka rekristalizacijsko žarjenje izdelkov. Odpadna toplota iz ohlajevalnih komor žarilnih peči bo v prenosniku toplote segrevala svež dovodni zrak iz okolice hale. V našem primeru bomo izvedli kombinacijo lokalnega in centralnega ogrevanja. Vgraditi bomo tri prenosnike toplote, po enega v bližini vsake žarilne peči, med že obstoječo izhodno ventilacijo odpadnega zraka ohlajevalnih modulov in izdelali cevni sistem dovoda svežega zraka iz okolice. Lokacija jamskih žarilnih peči je ugodna, saj so peči nameščene enakomerno po površini hale. Sistem bomo povezali z obstoječim centralnim ogrevanjem in s tem zagotovili, da bo hala ogrevana tudi takrat, ko tehnološki procesi ne bodo potekali.

Predlagan sistem bo sestavljen iz naslednjih ključnih delov:

- cevni sistem za dovod procesnega zraka v prenosnike toplote,
- prenosniki toplote,
- ventilatorji za vpihovanje zraka,
- regulacijski elementi (termostati, pnevmatske lopute za zapiranje in odpiranje dovoda svežega zraka, krmilniki).

2 DEFINICIJA PROBLEMA

Če hočemo ustvariti normalne delovne pogoje, moramo v proizvodni hali zagotoviti ustrezno temperaturo in jo prezračevati. Predlagan ogrevalni sistem bo izkoriščal odpadno procesno toploto za segrevanje svežega dovodnega zraka v halo. Z uvedbo nove investicije bomo zmanjšali stroške ogrevanja proizvodne hale in obremenjevanje okolja s toplogrednimi plini, saj bomo namesto zemeljskega plina uporabili odpadno toploto procesnega zraka za ogrevanje svežega dovodnega zraka.

2.1 Vpliv zraka na človeka

Slab zrak v prostoru je posledica različnih onesnaževalcev, ki so lahko zunanjega izvora ali pa se generirajo v sami stavbi. Svež zunanji zrak običajno nima bistvenega vpliva na kakovost zraka v prostoru, saj je le-ta do desetkrat bolj onesnažen od zunanjega. Poln je bioloških organizmov (gobe, plesni, bakterije, virusi, alge, paraziti), nemikrobskih alergenov (insekti, prhljaj, koža), kemičnih spojin ali plinov, ki so biološkega izvora (CO₂, hlapljive organske snovi) in različnih vonjav. Onesnaževalci se v splošnem delijo na dve skupini: trdni delci (prah, tobačni dim, azbestna vlakna, insekti, bakterije, virusi,...) in plini oziroma pare (ogljikov dioksid, ogljikov monoksid, dušikovi oksidi, formaldehidi,...). Zaradi uporabe čistil, barvil in delovanja strojev so v zraku lahko navzoče tudi različne organske spojine (alkoholi, etri, estri, aromatski ogljikovodiki,...)³. S klimatizacijo in prezračevanjem prostorov skušamo doseči ustrezno stanje zraka, kar je bistvenega pomena za zdravje in dobro počutje ljudi v prostoru. Ljudem, ki delajo in živijo v neustreznih pogojih, so izpostavljeni različnim bolezenskim znakom, ki jih je klinično težko diagnosticirati. Simptomi, ki se običajno pojavljajo, so glavobol, omotičnost, oteženo dihanje, zadušljiv občutek, vzdraženje zgornjih dihalnih poti, zaspanost, pekoče oči in zmanjšana motivacija. Intenzivna in dolgotrajna izpostavljenost neprimernemu zraku lahko pripelje do kroničnih bolezenskih znakov, kot so povišana telesna temperatura, infekcije, vnetja, zmanjšana telesna odpornost in podobno. Posebno pozornost je potrebno posvetiti tudi ustrezni vlažnosti zraka. Medtem, ko je idealna vlažnost zraka med 55 in 65 odstotkov, za zdravo in prijetno pa štejemo relativno vlago med 45 in 55 odstotki, lahko zaradi nizke absolutne vlažnosti dosega relativna vlažnost v ogrevanih prostorih pozimi manj kot 30 odstotkov³. Zaradi tega je za vzdrževanje

dobrega počutja in zdravstveno neoporečnega okolja potrebno zrak klimatizirati in/ali dovajati v prostor svež zrak iz okolice.

2.2 Toplozračno ogrevanje prostorov

Pri toplozračnem ogrevanju prostorov ogreti zrak prihaja v prostor po kanalih in se zmeša z notranjim zrakom. Prisilno kroženje zraka zagotovi enakomerno temperaturo v celotnem prostoru. Hitrost zraka v kanalih je lahko do 10 m/s, višje se odsvetujejo zaradi povečanega šuma³. Na dovodnem mestu zrak vstopa v prostor v obliki curka. Dolžino curka definiramo z ozirom na pozicijo dovoda. Če je dovodna odprtina pri tleh in so v prostoru ljudje, curek zraka ne sme pihati v ljudi. Dolžina zračnega curka je odvisna od hitrosti dovodnega zraka, masnega toka in oblike odprtine. Izvedba zračnih ogrevalnih naprav je podobna prezračevalnim napravam. Najvišja temperatura dovodnega zraka za industrijske objekte je med 40 in 60 °C, za bivalne prostore pa med 30 do 45 °C³. Zračno ogrevanje lahko izvedemo lokalno ali centralno. Pri prenosu toplote se vstopni in izstopni zračni tok med seboj ne mešata, zato se absolutna vlažnost tokov ne spreminja. Sistem dovoda zraka sestavlja, poleg kanalov in rešetk, naprava za prezračevanje, ki najpogosteje vsebuje prenosnik toplote. Oba zračna tokova v napravi pred vstopom potujeta skozi zračni filter, prisilno gibanje obeh zračnih tokov omogoča ventilator. Delovanje naprave oziroma ventilatorjev in loput ureja regulacijska enota z merilniki. Prednosti zračnega ogrevanja so:

- hitreje ogrejejo zrak v prostoru, kot drugi načini ogrevanja,
- z zamenjavo ali filtriranjem obtočnega zraka zagotavljamo čist zrak,
- omogoča hlajenje in vlaženje zraka,
- z izkoriščanjem toplote odpadnega zraka se izboljša ekonomičnost ogrevanja,
- ogrevamo lahko z svežim, obtočnim ali mešanim zrakom.

2.3 Sistem ogrevanja z izkoriščanjem odpadne toplote

Odpadno toploto, ki se generira med tehnološkim procesom toplotne obdelave jekla, odvajamo preko odsesovalnih sistemov v zunanje ozračje. V jamskih žarilnih pečeh poteka rekristalizacijsko žarjenje pri temperaturi okoli 700 °C⁴. Tipično obdelavo sestavljajo tri faze: segrevanje, vzdrževanje določene temperature in hlajenje pod določenimi pogoji. S toplotno obdelavo jekla dosežemo načrtovano mikrostrukturo

in boljše mehanske lastnosti izdelkov. V proizvodni hali so tri samostojne žarilne peči, ki so vodene s skupnega kontrolnega mesta. Ena lokacija zajema peč, v katerem teče proces gretja, in ohlajevalno komoro, v katero prenesemo peč, ko temperatura pade pod 550 °C. Ko se v ohlajevalni komori peč ohladi na 120 °C, jo izpraznimo.

Med tehnološkim procesom nastanejo trije tokovi odpadne toplote: odvod izpušnih plinov, odvod zraka ohlajevalnih komor in prezračevanje delovne jame. S prezračevanjem delovne jame zagotovimo večjo varnost, saj ob morebitnem uhajanju zemeljskega plina zmanjšamo njegovo koncentracijo v prostoru. Izvedli bomo meritve procesnega zraka in izpušnih plinov med samim procesom na vseh treh virih odpadne toplote. Najustreznejši vir odpadne toplote procesnega zraka bomo povezali s prenosnikom toplote, kjer bo toplota odpadnega zraka segrevala dovodni sveži zrak iz okolice. Ogreti zrak bo prihajal v prostor po kanalih in se mešal z notranjim zrakom ter tako zagotavljal ustrezno temperaturo v proizvodni hali.

3 PROIZVODNI PROCESI IN TEHNOLOGIJA V PROIZVODNI HALI

V proizvodni enoti Sestavni deli podjetja Iskra Avtoelektrika izdelujejo različne strojne dele, kot so sklopke, statorji, okrovi, kovani deli, štancani deli. Sestave izdelujejo po lastni zasnovi, tako da vsakemu kupcu pripravijo ustrežne rešitve, ali pa upoštevajo kupčevo originalno dokumentacijo. Procesi ustrezajo zahtevam standardov QS 9001 in ISO 14001, ob vsaki konstrukciji pa upoštevajo tudi njen vpliv na okoljevarstvene zahteve. Večina strojnih delov je izdelana s postopkom hladnega preoblikovanja. Naraščanje zanimanja za tehnologijo hladnega preoblikovanja je iskati predvsem v naslednjih vzrokih:

- izdelava odkovkov v ozkih tolerančnih mejah in posledično zmanjšanje dodatnih obdelovalnih operacij,
- zmanjševanje izgub materiala in s tem povečanje izkoristka vhodnega materiala,
- večja storilnost,
- deformacijska utrditev jekla, ki zmanjšuje velikost posameznih izdelkov ali dopušča uporabo jekel slabše kakovosti.

Kovanje izvajajo s stiskalnicami zmogljivosti od 320 do 1000 ton v hladnem vleku. V stiskalnico vstavijo osnovno orodje (jarem), v tega vstavijo posamezne pozicije orodja (matrice, pestiče). Matrice in pestiči zagotovijo želeno obliko obdelovanca. Transport obdelovancev je avtomatski preko transporterjev in podajalnih letev. Po vsakem mehkem žarjenju na obdelovance nanašajo mazivo, da zmanjšajo trenje med obdelovanci in orodjem. Produkti postopka hladnega preoblikovanja imajo visoko trdnost pri majhni masi materiala. Po vsakem postopku hladnega preoblikovanja obdelovance mehko žarijo, da spremenijo mikrostrukturo materiala in odpravijo notranje napetosti. Za rekristalizacijsko žarjenje uporabljajo globinske peči firme Aichelin in Bosio, ki jih segrevajo z zemeljskim plinom.

3.1 Tehnologija jamskih žarilnih peči

Tipično toplotno obdelavo jekla sestavljajo tri faze:

- segrevanje na določeno temperaturo,
- ohranjanje predpisane temperature v določenem časovnem intervalu,
- ohlajanje.

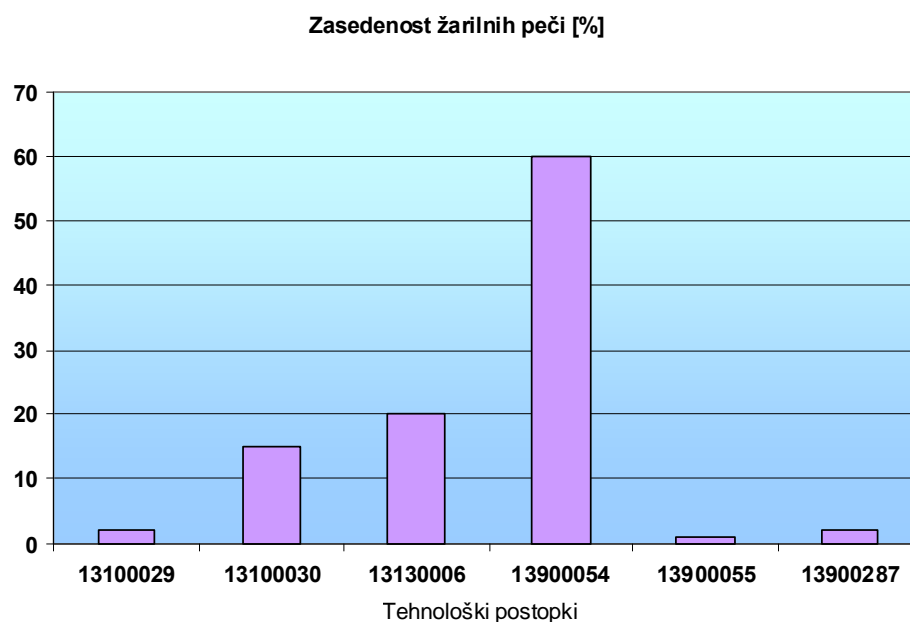
Peč za žarjenje je namenjena za termično obdelavo polizdelkov hladnega kovanja. Segrevanje peči je izvedeno s pomočjo štirih plinskih gorilnikov. Gorilniki so tangencialno nameščeni po obodu peči in povzročijo kroženje toplega zraka ob stenah peči ter tako posredno segrevajo retorto, ki je nameščena v peč. Gorilniki imajo vgrajen rekuperator, ki predgreva zgorevalni zrak z vročimi dimnimi plini in s tem zmanjšuje porabo goriva. Odprtina v peči, v katero pride retorta, je 300 mm nad tlemi. Za dvig in spust retorte uporabljajo mostovno dvigalo. Za dvig pokrova uporabljajo hidravlično napravo. V retorto vstavijo vložek v košarah iz ognjeodpornega jekla. Vložek sestavljajo štiri košare z maso približno 200 kg⁵. Napolnjeno retorto zaprejo s pokrovom in peč prenesejo v ogrevalno komoro. Za želeni temperaturni potek skrbi regulator temperature. Osrednji računalnik nadzira zagon in delovanje vseh treh žarilnih peči.

Po rekristalizacijskem žarenju je potrebno vložek ohladiti na 550 °C, zato retorto z mostovnim dvigalom prenesejo na mesto za ohlajanje. Peč je izolirana z moduli iz keramičnih vlaken, ki imajo majhno akumulacijo toplote, kar omogoča natančno in odzivno krmiljenje temperature. V pokrovu peči je nameščen obtočni ventilator, ki omogoča enakomernejšo porazdelitev temperature pri ohlajanju. Med celotnim tehnološkim procesom moramo v retorti vzdrževati in nadzorovati nadtlak, ki preprečuje vstop zraka v retorto in oksidacija vložka. Za hlajenje pokrova, na katerem je nameščen elektromotor, uporabljajo samostojni hladilni sistem.

3.1.1 Povprečna zasedenost žarilnih peči po tehnoloških postopkih

V proizvodnem procesu uporabljajo različne tehnološke postopke žarenja, ki so odvisni od obdelovancev. Slika 1 prikazuje relativno trajanje posameznih tehnoloških postopkov. Analiza zbranih podatkov je pokazala, da v povprečju največ, 60 % časa, poteka tehnološki postopek 13900054. Sledita tehnološki postopek 13130006 z 20 % časa in tehnološki postopek 13100030 z 16 % časa. Ostali

tehnološki postopki zajemajo 4 % razpoložljivih kapacitet. Najpogostejši tehnološki postopek 13900054 se začne s štiriurnim segrevanjem retorte do temperature 700 °C, sledi štiriurno vzdrževanje temperature 700 °C in se zaključi z ohlajanjem na temperaturo 580 °C. Nadaljnje ohlajanje do temperature 120 °C poteka v ohlajevalnih komorah. V tabeli 1 je prikazan potek vseh uporabljenih tehnoloških postopkov.



Slika 1: Relativna pogostost posameznih tehnoloških postopkov v proizvodnji

Tabela 1: Prikaz tehnoloških postopkov po fazah žarjenja

Tehnološki postopek	Prva faza	Druga faza	Tretja faza
13100029	4 ure segrevanje do temperature 760 °C	4 ure vzdrževanje temperature 760 °C	4,25 ure ohlajanje na temperaturo 550 °C
13100030	4 ure segrevanje do temperature 670 °C	4 ure vzdrževanje temperature 670 °C	4 ure ohlajanje na temperaturo 550 °C
13130006	2,5 ure segrevanje do temperature 650 °C	20 minut vzdrževanje temperature 650 °C	4 ure ohlajanje na temperaturo 550 °C
13900054	4 ure segrevanje do temperature 700 °C	4 ure vzdrževanje temperature 700 °C	1,5 ure ohlajanje na temperaturo 580 °C
13900055	4 ure segrevanje do temperature 700 °C	2 ure vzdrževanje temperature 700 °C	3 ure ohlajanje na temperaturo 550 °C
13900287	4 ure segrevanje do temperature 720 °C	4 ure vzdrževanje temperature 720 °C	4,25 ure ohlajanje na temperaturo 550 °C

3.2 Plinske peči PP – JVZA

- **Ohišje z izolacijo**

Ohišje peči je narejeno iz pločevine in ima obliko pokončnega valja. Na vrhu je odprtina za retorto, po obodu pa so odprtine za gorilnike. Izolacija je narejena iz keramičnih vlaken, debelina izolacije znaša 250 mm⁵.



Slika 2: Žarilna peč z vstavljenno retorto

Peč je na dno delovne jame pritrjena z nosilno konzolo. Delovno jamo morajo prezračevati s prisilno konvekcijo, sliki 3 in 4, da onemogočijo akumuliranje različnih plinov v jami in odpravijo možnost nastanka eksplozije.



Slika 3: Modul za vpih zraka v delovno jamo



Slika 4: Modul za sesanje zraka iz delovne jame

- **Retorte s pokrovom**

V ohišju peči je vstavljava retorta s pokrovom, v kateri se nahajajo košare z obdelovanci. Na stičnih površinah so keramična in gumijasta tesnila, ki omogočajo termično obdelavo vložka v zaščitni atmosferi. Zaradi zaščite gumijastega tesnila so

stične površine vodno hlajene. Na pokrovu je nameščen elektromotor z ventilatorjem. Rotor ventilatorja sega v retorto in skrbi za cirkulacijo vročega zraka v retorti in s tem enakomerno porazdelitev temperature ter hitrejši prenos toplote s sten retorte na vložek. Ventilator sesa vroči zrak skozi vložek navzgor in ga z usmerjevalnim valjem usmerja nazaj k retorti. Na dnu retorte sta nameščena dva ulitka, ki tvorita ravno površino, na katero se nalagajo košare z vložkom. Na pokrovu retorte je cevna povezava za hladilno vodo, dovod in odvod zaščitnega plina, in manometer za merjenje tlaka v retorti.

- **Gorilniško-regulacijska enota**

Sestavljena je iz:

- plinskih gorilnikov in pripadajoče plinske proge,
- avtomatike za vžig in varovanje plamena (tlačna stikala, ventilator),
- opreme za regulacijo temperature (regulator in merilniki temperature),
- nadzorni sistem za uhajanje zemeljskega plina.

Vžig plamena na posameznem gorilniku je izveden s pomočjo vžigalnega transformatorja in vžigalne elektrode, varovanje plamena pa z ionizacijskimi elektrodami. V primeru izpada plamena se ionizacijski tok prekine, takoj pa se prekine tudi dovod plina. Sistem regulacije delovanja gorilnikov je ON/OFF. Gorilniki imajo deklarirano moč 80 kW.⁵ Na merilnih mestih na gorilniku lahko kontrolirajo nastavitve plina in zraka. Ventilator zgorevalnega zraka obratuje ves čas procesa. Na več mestih v delovni jami so nameščeni senzorji, ki ob uhajanju zemeljskega plina signalizirajo to centralni enoti, ta pa sproži zvočni alarm.

- **Električna enota**

Električna enota je sestavljena iz nadzorne omare, ki se nahaja v posebnem prostoru poleg peči, nadzorne omarice ob vratih peči, omaric ob vsakem gorilniku in električnih povezav. Električna enota se lahko krmili ročno ali pa preko centralnega krmilnega sistema.

- **Nadzorni sistem**

Z nadzornim sistemom spremljajo procesne parametre, ki so predpisani v tehnoloških postopkih obdelave. V vsaki peči poteka samostojni tehnološki proces. Podatki se digitalno vzorčijo in shranjujejo v skupnem arhivu. Omogočeno je sledenje izdelkom

z ozirom na šaržo materiala. S pomočjo grafičnega prikaza časovnega poteka temperature je mogoče odkriti napake v procesu ali napake opreme. Nadzorni sistem omogoča nadzor peči v ohlajevalni komori, predvsem vdor zraka in površinske napake na izdelkih. Glavni meni sistema prikaže vse delovne procese peči, vključno s temperaturo in časom ohlajanja ohlajevalnih komor.

- **Zaprt hladilni sistem**

Delovne in ohlajevalne peči so na površini pokrova hlajene z vodo. Tehnološko vodo hladijo v protitočnem hladilnem stolpu. Zrak vstopa s spodnje strani in izstopa na vrhu kot segreta nasičena vodna para. Prisilni pretok zraka dosežejo s pomočjo ventilatorja. Voda vstopa v hladilni stolp preko razdelilnika in razpršilnih šob, ki jo prši po polnilih stolpa. Pri tem oddaja toploto s prestopom toplote in izhlapevanjem. Črpalke zagotavljajo tok vode med hladilnim stolpom in pokrovi retort.

- **Odvod dimnih plinov**

Dimne pline potiska ventilator po skupni ventilaciji na streho proizvodne hale. Ventilator deluje neprestano celoten delovni proces, saj tako preprečijo uhajanje dimnih plinov v delovno jamo žarilnih peči. Dimnik zagotavlja vlek zaradi razlike v gostoti zraka v okolici in srednje gostote dimnih plinov v dimniku. Vlek je zagotovljen, saj so dimni plini lažji od okoliškega zraka. Na vlek dimnika vpliva efektivna višina dimnika: višji je dimnik, večja je tlačna razlika in večji je vlek. Tlačni upori v dimniku so odvisni od preseka dimnika, kakovosti materiala notranje površine dimniške tuljave, oblike dimnika in dimniškega priključka. Vlek dimnika mora biti večji od vseh tlačnih uporov, ki nastajajo v kurilni napravi, dimniškem priključku in samem dimniku. Če ni zadosten, dimni plini zastajajo v dimniku, kar povzroča težave. Pri kurilnih napravah na tekoče ali plinasto gorivo s tlačnim gorilnikom del tlačnih uporov premaguje gorilnik. Pri žarilnih pečeh uporabljajo ventilatorje za prisilni vlek dimnih plinov. V tabeli 2 so podani podatki o ventilatorju za dimne pline.⁵

Tabela 2: Podatki o ventilatorju za dimne pline

Pretok	0,42 m ³ /s
Pa	470
Moč el. motorja	0,56 kW
Obrati el. motorja	1405 min ⁻¹
Temperatura	150 ⁰ C max

- **Ohlajevalne komore**

Po končani drugi fazi rekristalizacijskega žarenja prenesejo delovno retorto v ohlajevalno komoro. Ohlajevalno komoro obdaja dvojno ohišje iz pločevine, v katerem je toplotna izolacija. Na dnu ohišja so ohlajevalni kanali, preko katerih ventilator vpihuje zunanji hladilni zrak v delovno jamo. Ogreti zrak po ceveh s pomočjo ventilatorjev odsesava na streho proizvodne hale. V tabeli 3 so podani podatki o ventilatorju ohlajevalnih komor.⁵ Ventilacija v ohlajevalnih komorah deluje neprekinjeno, s čemer preprečijo kopičenje zemeljskega plina v delovni jami. Čas ohlajanja retorte je odvisen od predhodnega tehnološkega procesa.

Tabela 3: Podatki o ventilatorju ohlajevalnih komor

Pretok	3,06 m ³ /s
Pa	1000
Moč el. motorja	7,5 kW
Obrati el. motorja	2900 / min



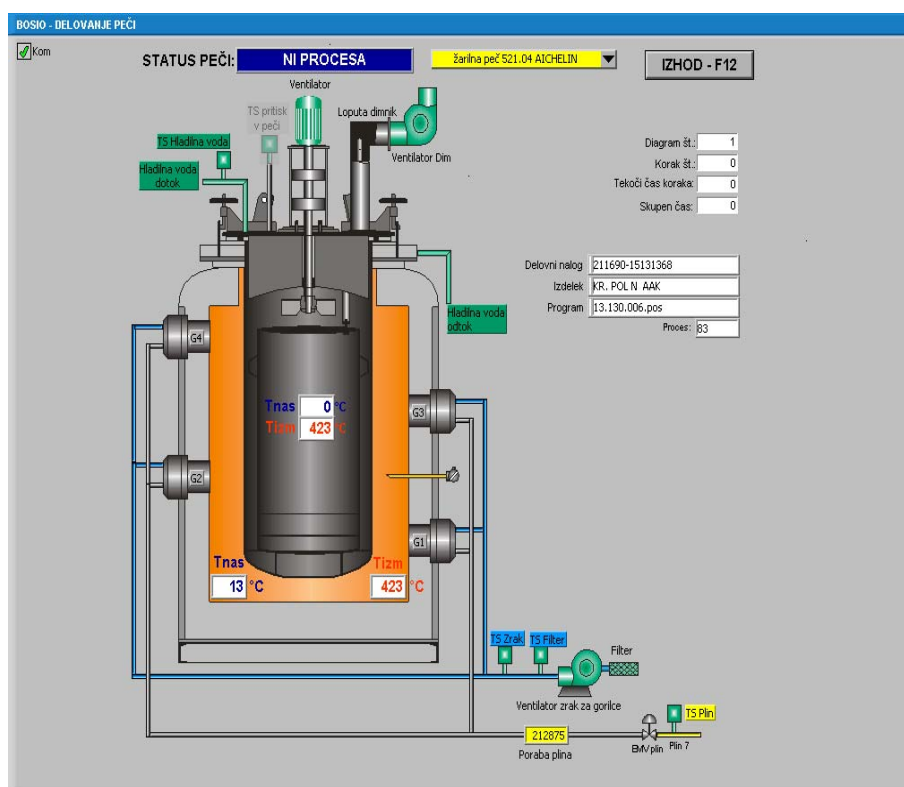
Slika 5: Ohlajevalna komora



Slika 6: Ventilator in cevovod za odsesavanje zraka iz ohlajevalne komore

Tabela 4: Tehnični podatki peči tipa PP- JVZ⁵

Maksimalna temperatura	1000 °C		
Volumen peči	V = 4,7 m ³	V = 8 m ³	V = 9 m ³
Deklarirana moč peči	max. 200 kW		
Število gorilnikov	5		
Toplotna moč posameznega gorilnika	20-80 kW		
Gorivo	zemeljski plin		
Kurilna vrednost	110,8 MJ/m ³		
Vhodni tlak	50-60 mbar		
Potreben električni priključek	3x400 ACV/50Hz		
Potrebna električna moč	8 kW		
Dimenzije grelne komore	φ 1870 mm		
Dimenzija retorte	φ 1160 mm		
Dimenzija peči	φ 2500 mm		
Uporabni prostor	5 košar φ 390x 390		



Slika 7: Primer procesnih parametrov žarilne peči tipa PP- JVZ⁵

4 OBSTOJEČI OGREVALNI SISTEM PROIZVODNE HALE

4.1 Sistem centralnega toplozračnega ogrevanja

Za ogrevanje proizvodne hale uporabljajo centralni sistem ogrevanja. V centralni kotlovnici segrevajo vodo in jo po cevovodih pošiljajo do grelnikov voda/zrak. Grelniki so namenjeni za toplozračno ogrevanje in prezračevanje industrijskih hal, delavnic, skladišč in drugih prostorov v podjetju. Enostavna konstrukcija zagotavlja dolgo življenjsko dobo, zanesljivost obratovanja in enostavno vzdrževanje. Vgradnja dodatnih elementov na sesalni strani omogoča številne načine montaže in mešanje obtočnega in svežega zraka. Temperatura dovodnega zraka je 25 °C. Grelnik zraka je sestavljen iz ohišja, prenosnika toplote, ventilatorja z elektromotorjem, žaluzije in nosilne konzole. Ohišje je razstavljivo in lakirano, kar omogoča enostavno in hitro vzdrževanje. Prenosniki toplote so kompaktne izvedbe z dvema ali tremi vrstami AlCu cevi, v katerih se pretaka voda z najvišjo dovoljeno temperaturo 120 °C in tlakom 8 bar.⁶ Grelnik z dvovrstnim prenosnikom je primeren za delovanje z obtočnim, s trivrstnim prenosnikom pa za ogrevanje s svežim zrakom. Vgrajen ventilator z dvostopenjskim elektromotorjem ima zaščitno žaluzijo. Aluminijske lopatice ventilatorja so oblikovane tako, da zagotavljajo tiho delovanje. Zaščitna žaluzija je izdelana iz pločevine, lamele so nepovezane in omogočajo posamično ročno nastavljanje.



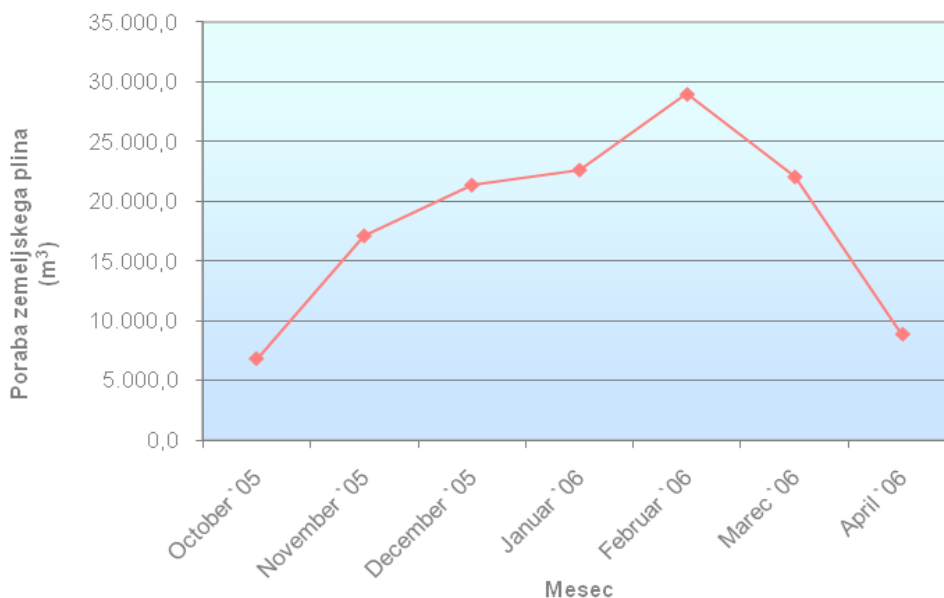
Slika 8: Grelnik zraka⁶

4.2 Stroški ogrevanja proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006

Za ogrevanje vode v centralni kotlovnici, ki v grelnikih segreva dovodni zrak, uporabljajo zemeljski plin. Za varno in neprekinjeno oskrbo in uporabo plina morajo pri vgradnji plinske napeljave upoštevati vse predpise in izdelati nadzorni sistem za nadzor in opozarjanje na morebitno uhajanje zemeljskega plina. Predvsem je pomembno, da izvajajo vsa vzdrževalna dela na gorilnikih in napeljavi v predpisanih rokih in po točno določenem tehničnem elaboratu, s čemer zagotovijo kvalitetno izogrevanje in racionalno rabo zemeljskega plina. V tabeli 5 in na sliki 3 je prikazana raba zemeljskega plina za ogrevanje proizvodne hale v sezoni 2005/2006 in z energentom povezani stroški po kurilnih mesecih.⁷

Tabela 5: Cena porabljenega zemeljskega plina v sezoni 2005/2006

Mesec	Poraba zemeljskega plina (m ³)	Stroški na mesec (€)
Oktober 2005	6781,49	2644,77
November 2005	17096,99	6667,82
December 2005	21362,68	8331,44
Januar 2006	22622,03	8822,59
Februar 2006	28979,37	11301,95
Marec 2006	22049,39	8599,26
April 2006	8828,58	3443,17
Skupaj / sezono	127720,55	49811,00



Slika 9: Poraba zemeljskega plina po mesecih v sezoni 2005/2006

Prednosti uporabe zemeljskega plina:

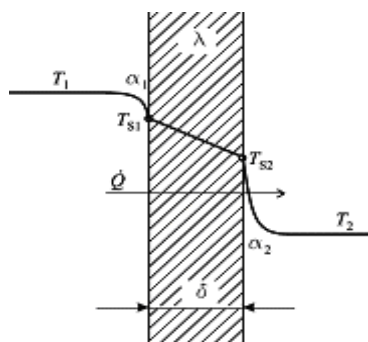
- izognemo se stroškom skladiščenja,
- goriva ni potrebno prevažati,
- plinski kotli so razmeroma majhni in so enostavni za upravljanje in vzdrževanje,
- stroške ogrevanja poravnava sproti glede na dejansko porabo plina,
- zemeljski plin je energent z najmanjšimi negativnimi vplivi na okolje med fosilnimi gorivi.

4.3 Toplotne izgube proizvodne hale

Proizvodna hala izgublja toploto skozi ovoj stavbe, skozi tla in zaradi prezračevanja, ki je posledica tehnološkega procesa ali zagotavljanja ustreznih delovnih pogojev. Pri ovojju stavbe upoštevamo različne pogoje prenosa toplote pri vertikalni steni, stropu in tleh.

4.3.1 Prenos toplote

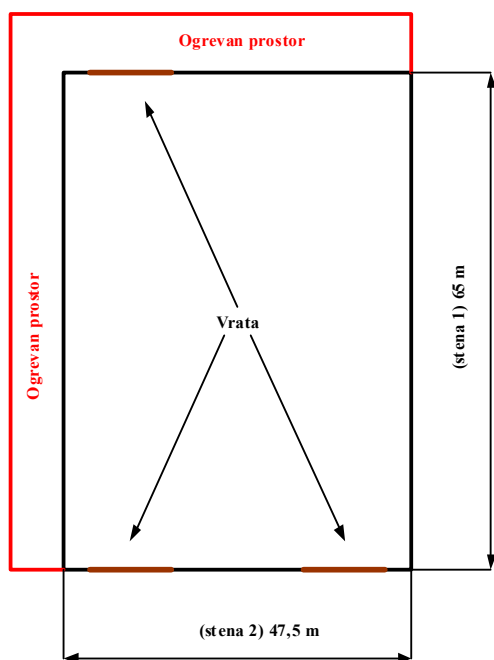
Toplota se lahko prenaša s tremi mehanizmi: s prevodom toplote skozi steno, s prestopom toplote z ali na okoliško tekočino in s sevanjem stene. Toplota prehaja skozi obodne konstrukcije zaradi temperaturne razlike med toplim zrakom v prostoru in hladnim zunanjim zrakom v smeri nižje temperature. Toplotne izgube lahko zmanjšamo z izboljšanjem toplotne izolacije obodnih konstrukcij. Karakteristična vrednost konstrukcije je toplotna prehodnost, ki je mera za količino toplote, ki preide v času ene sekunde skozi površino enega kvadratnega metra konstrukcije, če je temperaturna razlika tekočin na obeh straneh konstrukcije en Kelvin.



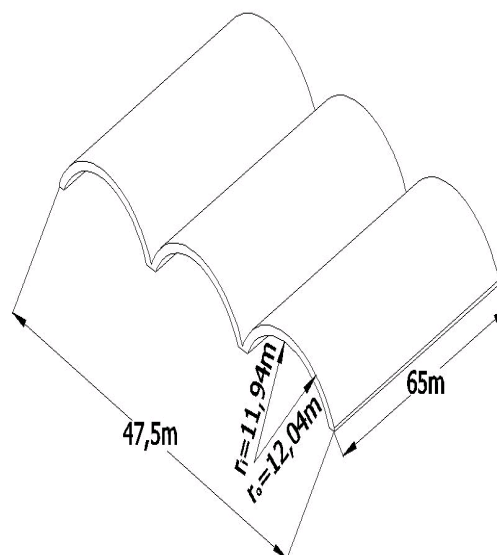
Slika 10: Prenos toplote skozi steno⁸

4.3.2 Izračun toplotnih izgub proizvodne hale po standardu SIST EN ISO 6946

Ogrevalni sistem mora zagotavljati temperaturo $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ v proizvodni hali. Toplotne izgube nastajajo zaradi prenosa toplote skozi zunanji ovoj stavbe, tla in zaradi izmenjave zraka. Tloris in streha proizvodne hale sta prikazana na slikah 11 in 12, podatki o velikosti posameznih površin pa v tabeli 6.⁹ Zunanji ovoj stavbe je sestavljen iz dveh sten (dve mejita na ogrevan prostor), dvojna jeklena vrata in stop. Strop je betonski in ima obliko treh spojenih polkrožnih valjev. Preračun toplotne prehodnosti homogenih gradbenih konstrukcij opredeljuje standard SIST EN ISO 6946.¹⁰



Slika 11: Tloris proizvodne hale



Slika 12: Streha proizvodne hale

Tabela 6: Podatki o velikosti površin

Naziv	Število	Površina
Stena 1		650,00 m ²
Stena 2		475,00m ²
Vrata na steni 2	2	24,00 m ²
Površina tal		3087,50 m ²
Površina stropa		3378,79 m ²
Volumen proizvodne hale		35506,25 m ³

4.3.3 Izračun toplotnih izgub skozi stene proizvodne hale

Izračun toplotnih izgub vključuje dve zunanji steni in dvojna jeklena vrata. Skozi drugi dve notranji steni, ki mejita na ogrevan prostor, ni toplotnih izgub in v izračunu nista upoštevani. Stene nimajo posebne toplotne zaščite. Zgrajene so iz navadne opeke in ometane iz obeh strani.

Za izračun upora proti prehodu toplote skozi stene uporabimo enačbo:

$$\Sigma R_{stena} = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{d_{omet}}{\lambda_{omet}} + \frac{d_{opeka}}{\lambda_{opeka}} + \frac{d_{omet}}{\lambda_{omet}} + \frac{1}{\alpha_z} \quad (4.1)$$

V enačbo 4.1 vstavimo podatke:

α_n	toplotna prestopnost na notranji strani stene (7,7 W/m ² K)
d_{omet}	debelina ometa (0,025 m)
λ_{omet}	toplotna prevodnost ometa (0,99 W/mK)
d_{opeka}	debelina opeke (0,29 m)
λ_{opeka}	toplotna prevodnost opeke (0,76 W/mK)
α_z	toplotna prestopnost na zunanji strani stene (25 W/m ² K)

Iz enačbe dobimo: $\Sigma R_{stena} = 0,6 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

Za izračun koeficienta toplotne prehodnosti skozi stene uporabimo enačbo:

$$U_{stena} = \frac{1}{\Sigma R_{stena}} \quad (4.2)$$

Iz enačbe dobimo: $U_{stena} = 1,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Za izračun specifičnega transmisijskega toplotnega toka skozi stene uporabimo enačbo:

$$H_{stena} = A_{stena} U_{stena} \quad (4.3)$$

V enačbo 4.3 vstavimo podatke:

A_{stena}	površina stene (1101 m ²)
U_{stena}	koeficient toplotne prehodnosti skozi stene (1,66 W/m ² K)

Specifični transmisijski toplotni tok skozi stene: $H_{stene} = 1835 \text{ W/K}$.

4.3.4 Izračun toplotnih izgub skozi vrata proizvodne hale

Jeklena vrata so zgrajena iz jeklenih profilov in pločevine debeline 0,005 m in niso obložena s toplotno izolacijo. V izračunu upoštevamo dvojna jeklena vrata, ki se nahajata na isti steni 2 (slika 5) in služita za tovorni prehod.

Za izračun upora proti prehodu toplote skozi vrata uporabimo enačbo:

$$\sum R_{\text{jeklenavrata}} = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{d_{\text{jeklenavrata}}}{\lambda_{\text{jeklenavrata}}} + \frac{1}{\alpha_z} \quad (4.4)$$

V enačbo 4.4 vstavimo podatke:

α_n toplotna prestopnost na notranji strani vrat (7,7 W/m²K)

$d_{\text{jeklenavrata}}$ debelina jeklenih vrat (0,005 m)

$\lambda_{\text{jeklenavrata}}$ toplotna prevodnost jeklenih vrat (0,59 W/mK)

α_z toplotna prestopnost na zunanji strani vrat (25 W/m²K)

Iz enačbe dobimo: $\sum R_{\text{jeklenavrata}} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Za izračun koeficienta toplotne prehodnosti skozi jeklena vrata uporabimo enačbo:

$$U_{\text{jeklenavrata}} = \frac{1}{\sum R_{\text{jeklenavrata}}} \quad (4.5)$$

Iz enačbe dobimo: $U_{\text{jeklenavrata}} = 5,81 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Za izračun specifičnega transmisijskega toplotnega toka skozi jeklena vrata uporabimo enačbo:

$$H_{\text{jeklena vrata}} = A_{\text{jeklena vrata}} U_{\text{jeklena vrata}} \quad (4.6)$$

V enačbo 4.6 vstavimo podatke:

$A_{\text{jeklena vrata}}$ površina vrat (dvojna vrata, 24 m²)

$U_{\text{jeklena vrata}}$ koeficient toplotne prehodnosti skozi vrata (5,81 W/m²K)

Specifični transmisijski toplotni tok skozi vrata: $H_{\text{jeklenavrata}} = 139,53 \text{ W/K}$.

4.3.5 Izračun toplotnih izgub skozi strop

Strop proizvodne hale je sestavljen iz treh obokov enakih dimenzij. Strop je iz betona debeline 0,1 m in ni dodatno toplotno izoliran.

Za izračun polmera enega oboka stropa uporabimo enačbo:

$$r_i = \frac{t}{2\sqrt{1 - \left(1 - \frac{h}{r}\right)^2}} \quad (4.7)$$

V enačbo 4.7. vstavimo podatke:

t širna loka enega oboda (15,83 m)

h višina loka (3 m)

r polmer loka (6,5 m)

Iz enačbe dobimo: $r_i = 11,94$ m in $r_o = 12,04$ m .

Koeficient prehoda toplote za ukrivljen strop izračunamo preko nadomestne toplotne upornosti:

$$\frac{\Sigma R_{strop}}{A_{strop}} = \left(\frac{1}{3k}\right) \left(\frac{1}{2\pi L}\right) \left(\frac{1}{r_i \alpha_i} + \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{\lambda} + \frac{1}{r_o \alpha_o}\right) \quad (4.8)$$

V enačbo 4.8. vstavimo podatke:

r_o zunanji premer valja (12,04 m)

r_i notranji premer valja (11,94 m)

L dolžina valja (65 m)

λ toplotna prevodnost betona (1,7 W/mK)

α_i toplotna prestopnost na notranji strani stropa (10 W/m²K)

α_o toplotna prestopnost na zunanji strani stropa (25 W/m²K)

k delež loka osnovne ploskve valja $k = \frac{83^\circ}{360^\circ} = 0,23$

En obok predstavlja del valja s 23 % loka osnovne ploskve valja.

Iz enačbe 4.8 dobimo: $\frac{\Sigma R_{strop}}{A_{strop}} = 1,586 \cdot 10^{-2}$ K/W

Specifični transmisijski toplotni tok skozi betonski strop izrazimo z enačbo

$$H_{strop} = AU_{strop} = \frac{A_{strop}}{\Sigma R_{strop}} \quad (4.9)$$

Specifični transmisijski toplotni tok skozi strop: $H_{strop} = 15095,55$ W/K .

4.3.6 Izračun toplotnih izgub skozi tla

Tla so vlita iz betona debeline 30 cm, pod njimi je pesek. V tleh ni dodatne toplotne izolacije. Za izračun toplotne prehodnosti talne konstrukcije moramo predhodno določiti dva parametra: karakteristično dimenzijo tal in ekvivalentno debelino tal¹⁰.

Za izračun karakteristične dimenzije tal uporabimo enačbo:

$$B' = \frac{A_{tal}}{\frac{1}{2}P} \quad (4.10)$$

V enačbo 4.10 vstavimo podatke:

A_{tal} površina talne konstrukcije (3087 m²)

P obseg talne konstrukcije (225 m)

Iz enačbe dobimo: $B' = 27,44$ m.

Za izračun ekvivalentne debeline tal uporabimo enačbo:

$$d_t = w + \lambda (R_{\alpha i} + R_{\lambda f} + R_{\alpha e}) \quad (4.11)$$

V enačbo 4.11 vstavimo podatke:

W debelina zidu nad nivojem zemlje (0,34 m)

λ toplotna prevodnost talnega betona (2 W/mK)

$R_{\alpha i}$ toplotna upornost prestopa toplote na notranji strani (0,17 m²K/W)

$R_{\lambda f}$ toplotna upornost prevoda toplote skozi talno konstrukcijo (0,167 m²K/W)

$R_{\alpha e}$ toplotna upornost prestopa toplote na zunanji strani (0,04 m²K/W)

Iz enačbe dobimo: $d_t = 1,0933$ m.

Za izračun koeficienta toplotne prehodnosti skozi talno konstrukcijo uporabimo enačbo:

$$U_{tal} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad (4.12)$$

V enačbo 4.12 vstavimo podatke:

λ toplotna prevodnost talnega betona (2 W/mK)

B' karakteristična dimenzija tal (27,44 m)

d_t ekvivalentna debelina tal (1,0933 m)

Iz enačbe dobimo: $U_{tal} = 0,201 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Za izračun specifičnega transmisijskega toplotnega toka skozi tla uporabimo enačbo:

$$H_{tal} = A_{tal} U_{tal} \quad (4.13)$$

V enačbo 4.13 vstavimo podatke:

A_{tal} površina tal (3087 m²)

U_{tal} toplotna prehodnost skozi tla (0,201 W/m²K)

Specifični transmisijski toplotni tok skozi tla: $H_{tal} = 620,58 \text{ W/K}$.

4.3.7 Specifični transmisijski toplotni tok skozi zunanji ovoj stavbe

Specifični transmisijski toplotni tok zunanjega ovoja stavbe je sestavljen iz specifičnega transmisijskega toplotnega toka stene, stropa in jeklenih vrat.

$$H_{ovoj} = H_{stene} + H_{jeklenavrata} + H_{strop} \quad (4.14)$$

Specifični transmisijski toplotni tok skozi ovoj stavbe: $H_{ovoj} = 17070,08 \text{ W/K}$.

Zaradi velike površine in slabe toplotne izolacije prispevajo toplotne izgube skozi strop največji delež k celotnim toplotnim izgubam proizvodne hale.

4.3.8 Skupni specifični transmisijski toplotni tok stavbe

Skupni specifični transmisijski toplotni tok stavbe dobimo tako, da seštejemo transmisijski tok ovoja stavbe in transmisijski tok tal¹⁰.

$$H_T = H_{ovoj} + H_{tla} \quad (4.15)$$

Skupni specifični transmisijski toplotni tok stavbe: $H_T = 17690,66 \text{ W/K}$.

4.4 Toplotna bilanca proizvodne hale

Toplotne izgube zgradbe zaradi prehoda toplote in zaradi izmenjave zraka naraščajo z razliko temperature zraka v zgradbi in njeni okolici. Pri računanju toplotnih izgub zgradbe upoštevamo temperaturo zunanjega zraka glede na meteorološka merjenja v okolju, kjer se nahaja proizvodna hala. V toplotni bilanci upoštevamo še toplotne izgube zaradi prezračevanja proizvodne hale skozi vrata in ventilacijske kanale.

4.4.1 Specifični toplotni tok zaradi prezračevanja

Glede na značilnost tehnoloških procesov in ker v proizvodni hali ni prisilnega prezračevanja, ocenimo število izmenjav celotnega volumna zraka v hali na 0,3 na uro¹⁰. Specifični toplotni tok zaradi prezračevanja izračunamo z enačbo:

$$H_v = 0,34 n V \quad (4.16)$$

V enačbo 4.16 vstavimo podatke:

n število izmenjav zraka na uro ($0,3 \text{ h}^{-1}$)

V volumen hale (35506 m^3)

Specifični toplotni tok zaradi prezračevanja: $H_v = 3621,63 \text{ W}$.

4.4.2 Skupni toplotni tok stavbe

Skupni specifični toplotni tok stavbe je vsota skupnega specifičnega transmisijskega toplotnega toka stavbe in specifičnega toplotnega toka zaradi prezračevanja:

$$H = H_T + H_v \quad (4.17)$$

Skupni specifični toplotni tok stavbe: $H = 21312,29 \text{ W/K}$.

Toplotni tok za pokrivanje toplotnih izgub izračunamo kot zmnožek skupnega specifičnega toplotnega toka stavbe in razlike temperature v proizvodni hali in zunanosti z upoštevanjem povprečne temperature zraka na mesec v kurilni sezoni 2005/2006.

$$\dot{Q}_{izg} = H (T_{in} - T_{out}) \quad (4.18)$$

V enačbo 4.18. vstavimo podatke:

H skupni specifični transmisijski toplotni tok ($21312,29 \text{ W / K}$)

T_{in} notranja temperatura ($20 \text{ }^\circ\text{C}$)

T_{out} povprečna zunanja mesečna temperatura v kurilni sezoni 2005/2006

V tabeli 7 je z enačbo 4.18 izračunan toplotni tok za pokrivanje toplotnih izgub proizvodne hale v posameznem mesecu kurilne sezone 2005/2006. Podatke o povprečni mesečni temperaturi je posredovala meteorološka postaja Bilje pri Novi Gorici¹¹.

Tabela 7: Povprečna mesečna temperatura in toplotni tok za pokrivanje toplotnih izgub proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006

Mesec	oktober 2005	november 2005	december 2005	januar 2006	februar 2006	marec 2006	april 2006
Povprečna temp. °C	13,3	7,4	2,8	7,0	3,4	6,4	12,1
\dot{Q}_{izg} [kW]	142,8	268,7	366,8	277,2	354	290	170,5

Potrebni celotni toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale izračunamo tako, da od toplotnega toka za pokrivanje toplotnih izgub odštejemo toplotne dobitke stavbe. Toplotne dobitke stavbe tvorijo notranji toplotni dobitki od ljudi, aparatov, razsvetljave in naprav za pripravo tople vode, ter solarni dobitki skozi okna in ostale zunanje površine stavbe. Uporabimo povprečno priporočeno vrednost po standardu SIST EN ISO 6946, ki znaša 5 W na kvadratni meter proizvodne hale¹⁰.

$$\dot{Q}_{cel} = \dot{Q}_{izg} - Q_{dob} \quad (4.19)$$

V enačbo 4.19. vstavimo podatke

\dot{Q}_{izg} Toplotni tok za pokrivanje toplotnih izgub v določenem mesecu kurilne sezone

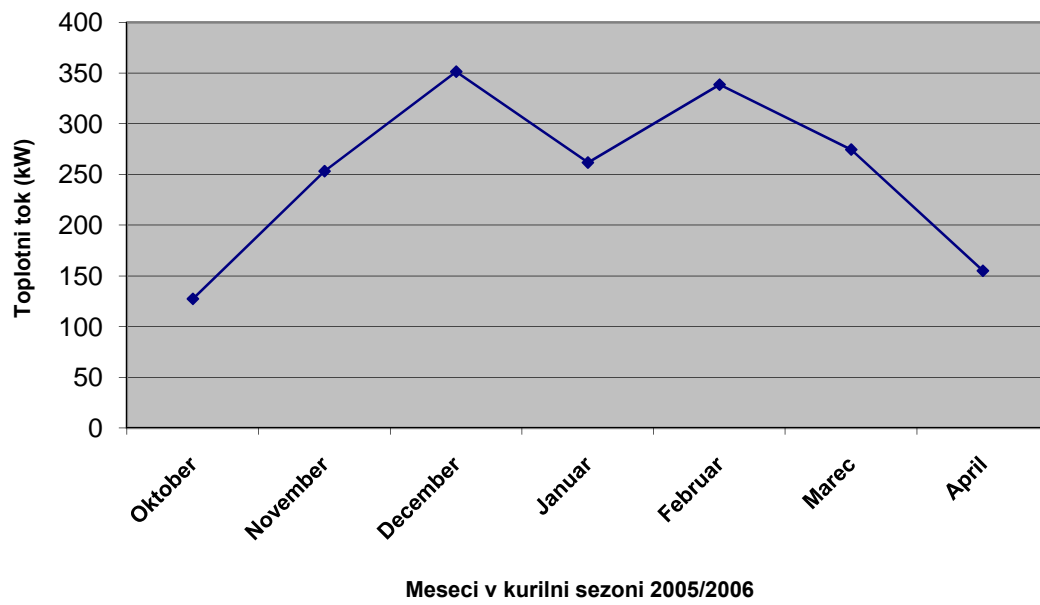
Q_{dob} Toplotni dobitki po standardu SIST EN ISO 6946 glede na površino prostora

$$(Q_{dob} = A_{tal} \cdot 5 \text{ W/m}^2 = 15,5 \text{ kW})$$

V tabeli 8 in na sliki 13 je z enačbo 4.19 izračunan in prikazan potreben celotni toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale v mesecih kurilne sezone 2005/2006.

Tabela 8: Potreben celotni toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006.

Mesec	oktober 2005	november 2005	december 2005	januar 2006	februar 2006	marec 2006	april 2006
\dot{Q}_{cel} [kW]	127,4	253,3	351,4	261,8	338,6	274,6	155,1



Slika 13: Potrebni celotni toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006

5 ANALIZA PORABLJENE TOPLOTE V KURILNI SEZONI 2005/2006 ZA OGREVANJE PROIZVODNE HALE

Izračun toplotnih izgub proizvodne hale po standardu SIST EN ISO 6946 bomo verificirali z dejansko porabljeno toploto v kurilni sezoni 2005/2006. Pri izračunu potrebne toplote za ogrevanje stavbe bomo uporabili statistične meteorološke podatke in specifični transmisijski toplotni tok stavbe, ki smo ga določili v poglavju 4.3. Dejansko porabljeno toploto bomo določili s pomočjo podatkov o volumnu porabljenega zemeljskega plina iz poglavja 4.2, kurilne vrednosti zemeljskega plina in izkoristka peči, ki ga je določila dimnikarska služba pri rednem pregledu zgorevalnega sistema.

5.1 Ocena potrebne toplote za ogrevanje proizvodne hale

Oceno potrebne toplote za ogrevanje proizvodne hale izračunamo kot zmnožek specifičnega transmisijskega toplotnega toka stavbe in temperaturnega primanjkljaja ter odštejemo toplotne dobitke. Temperaturni primanjkljaj v stopinjskih dnevih je definiran kot vsota razlik med notranjo temperaturo 20 °C in povprečno dnevno zunanjo temperaturo zraka za tiste dni, ko je povprečna dnevna temperatura nižja od 12 °C.

Oceno potrebne toplote brez upoštevanja toplotnih dobitkov izračunamo po enačbi:

$$Q_{tot} = H TP \frac{24}{1000} \quad (5.1)$$

V enačbo 5.1. vstavimo podatke:

H Skupni specifični transmisijski toplotni tok stavbe (21328,704 W/K)

TP Temperaturni primanjkljaj, podan po mesecih za kurilno sezono 2005/2006. Podatki so v tabeli 9.¹¹

Tabela 9: Temperaturni primanjkljaj in število kurilnih dni za kurilno sezono 2005/2006

Mesec	oktober 2005	november 2005	december 2005	januar 2006	februar 2006	marec 2006	april 2006
Temperaturni primanjkljaj (Kurilnih dni)	86 (8)	328 (29)	426 (24)	494 (27)	432 (26)	386 (29)	160 (15)

Oceno potrebne toplote z upoštevanjem toplotnih dobitkov izračunamo po enačbi:

$$Q_{pot} = Q_{tot} - Q_{dob} \quad (5.2)$$

V enačbo 5.2. vstavimo podatke:

Q_{tot} toplota, izračunana z enačbo 5.1 s pomočjo podatkov iz tabele 9

Q_{dob} toplotni dobitki, izračunani s pomočjo toplotnega toka iz poglavja 4.4.2 in števila kurilnih dni iz tabele 9

Ocena potrebne toplote za kurilno sezono 2005/2006 je podana v tabeli 10.

Tabela 10: Z enačbo 5.2 izračunana potrebna toplota za ogrevanje proizvodne hale po mesecih v kurilni sezoni 2005/2006

Mesec	Q_{pot} [MWh]
oktober	41,06
november	157,16
december	209,17
januar	242,87
februar	211,50
marec	186,84
april	76,34

5.2 Dejansko porabljena toplota za ogrevanje proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006

Podatki, ki so vključeni v izračun dejansko porabljene toplote za ogrevanje proizvodne hale, zajemajo: volumen porabljenega zemeljskega plina v kurilni sezoni 2005/2006, kurilno vrednost zemeljskega plina in izkoristka peči.

$$Q_{dej} = VH_i\eta_{peč} \quad (5.3)$$

V enačbo 5.3. vstavimo podatke:

V volumen porabljenega zemeljskega plina na mesec⁷ (1277720,55 m³)

H_i kurilna vrednost zemeljskega plina¹² (9,5 kWh/m³)

$\eta_{peč}$ izkoristek peči¹³ (0,955)

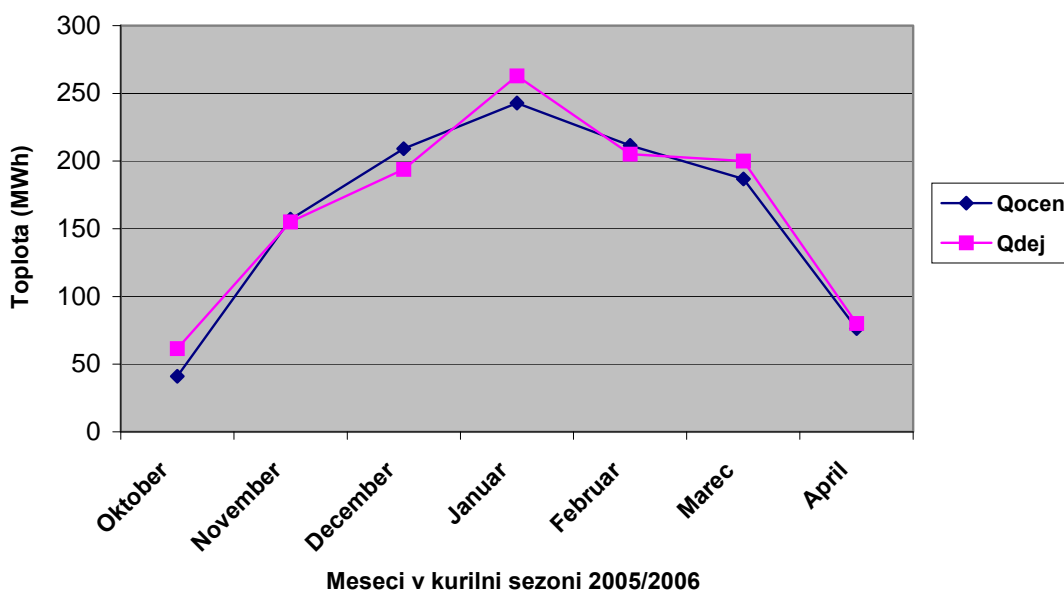
Dejansko porabljena toplota za kurilno sezono 2005/2006 je podana v tabeli 11.

Tabela 11: Z enačbo 5.3 izračunana dejansko porabljena toplota za ogrevanje proizvodne hale po mesecih v kurilni sezoni 2005/2006

Mesec	Q_{dej} [MWh]
oktober	61,50
november	155,11
december	193,81
januar	262,90
februar	205,23
marec	200,00
april	80,00

5.3 Primerjava izračunane in dejansko porabljene toplote za ogrevanje proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006

Izračunane vrednosti porabljene toplote za ogrevanje proizvodne hale po standardu SIST EN ISO 6946 z uporabo meteoroloških podatkov za kurilno sezono 2005/2006 smo primerjali z dejansko porabljeno toploto za ogrevanje, ki smo jo določili na osnovi porabljenega zemeljskega plina v isti kurilni sezoni 2005/2006. Primerjava izračunane in dejansko porabljene toplote po mesecih je prikazana na sliki 14 in potrjuje ustreznost standarda SIST EN ISO 6946. Povprečno odstopanje med ocenjeno in dejansko porabljeno toploto znaša 5,7 %. Ocenili smo, da na odstopanje najbolj vpliva neupoštevanje dela prostih dni, ko je bilo ogrevanje le te minimalno.



Slika 14: Primerjava izračunane in dejansko porabljene toplote v kurilni sezoni 2005/2006

6 MERITVE PROCESNIH PARAMETROV

Pred izbiro novega sistema ogrevanja smo izmerili in analizirali razpoložljive vire odpadne toplote. V tehnološkem procesu se pojavljajo trije razpoložljivi viri odpadne toplote:

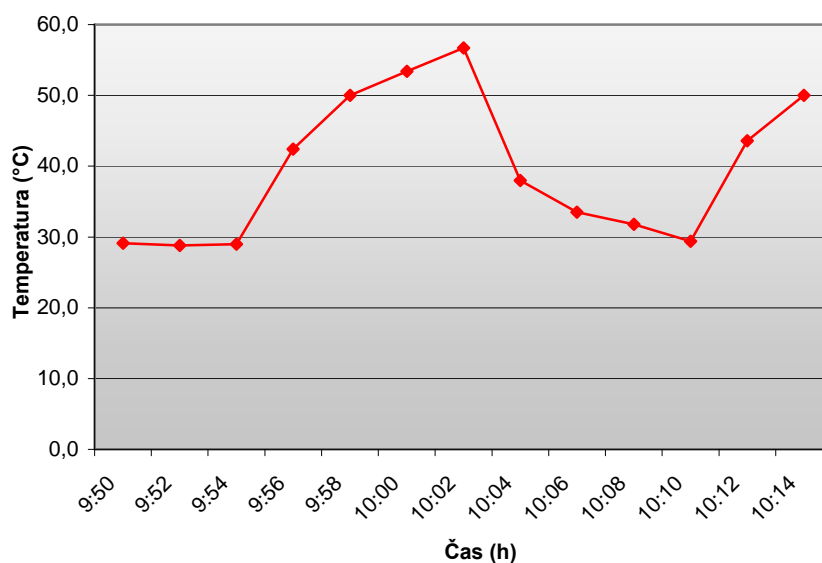
- toplota dimnih plinov
- toplota prezračevalnega zraka ohlajevalnih komor
- toplota prezračevalnega zraka delovne jame

Prezračevalni zrak delovne jame se je izkazal kot neprimeren zaradi prenizke temperature, neenakomernosti vira toplote in možnosti kontaminiranosti z eksplozivnimi plini ob morebitnem uhajanju plina. Zato smo izvedli meritve le pri dveh virih odpadne procesne toplote: temperaturi dimnih plinov in prezračevalnega zraka ohlajevalnih komor. Pretok obeh virov odpadne toplote je konstanten in določen s kapaciteto ventilatorjev obeh sistemov. Temperaturo dimnih plinov smo izmerili med potekom tehnološkega procesa 13100029, temperaturo prezračevalnega zraka ohlajevalnih komor pa med potekom tehnoloških postopkov 13900054 in 13131006.

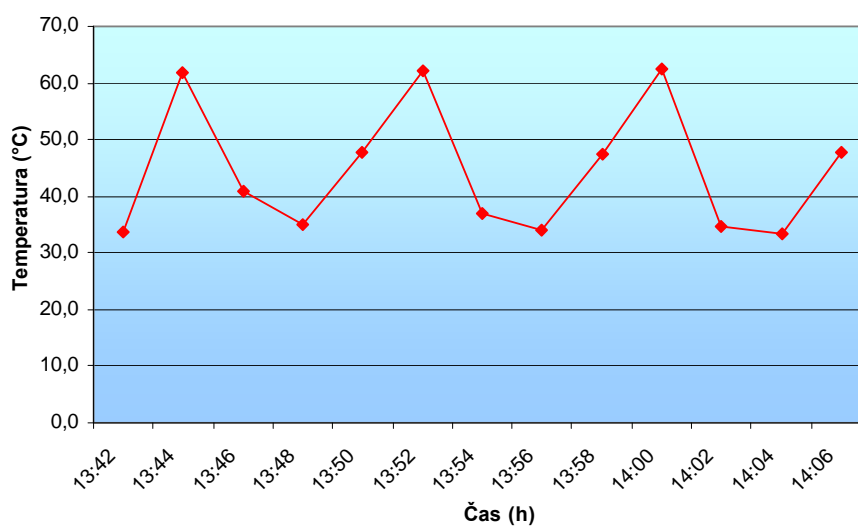
6.1 Temperatura dimnih plinov pri peči PP-JZA 4700/1000

Na sliki 15 je prikazan potek temperature dimnih plinov med tehnološkim procesom 13100029. Temperaturo smo merili 24 minut z intervalom vzorčenja dve minuti. Periodično nihanje temperature je posledica vklapljanja in izklapljanja (ON/OFF regulacija) grelcev. Frekvenca in amplituda nihanja temperature sta odvisni od predpisanega režima v prvi fazi žarenja. Med tehnološkim procesom 13100029 temperatura niha med 29 °C in 58 °C. Meritev smo izvedli z ročnim digitalnim instrumentom s termoelementom na sredini dimnika v odprtini 2 m nad grelci.

V drugi fazi tehnološkega postopka 13100029 je predpisana temperatura v retorti 760 °C. Postopek merjenja temperature je bil enak, kot pri merjenju v prvi fazi. Na sliki 16 vidimo, da temperatura dimnih plinov v drugi fazi tehnološkega postopka 13100029 niha med 34 °C in 62 °C. V tretji fazi žarenja retorto ohlajamo na temperaturo 550 °C in grelci niso aktivni.



Slika 15: Izmerjena temperatura dimnih plinov v prvi fazi tehnološkega postopka 13100029



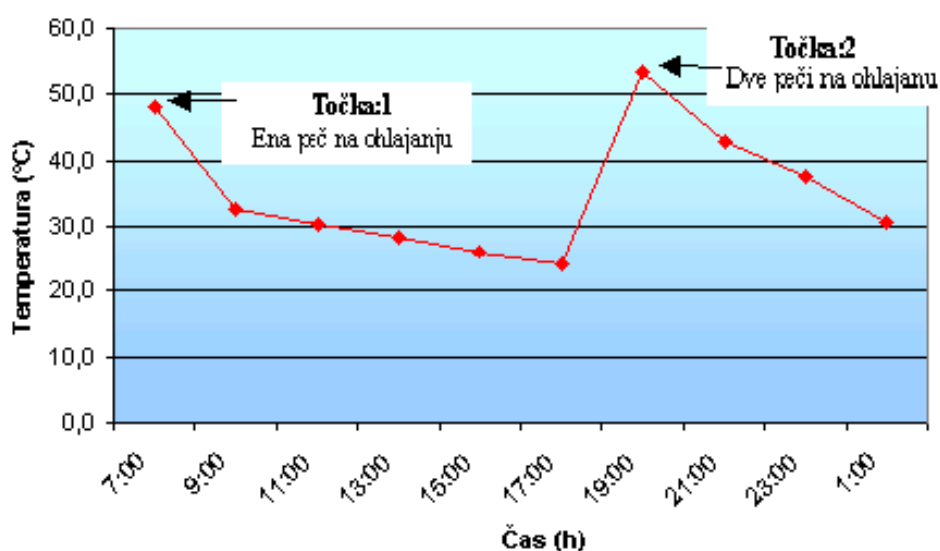
Slika 16: Izmerjena temperatura dimnih plinov v drugi fazi tehnološkega postopka 13100029

6.2 Temperatura prezračevalnega zraka ohlajevalnih komor

Izvedli smo meritve temperature zraka v prezračevalni ventilaciji za vse tri tipe žarilnih peči: PP-JZA 9000/1000, PP-JZA 8000/1000 in PP-JZA 4700/1000.

6.2.1 PP-JZA 9000/1000

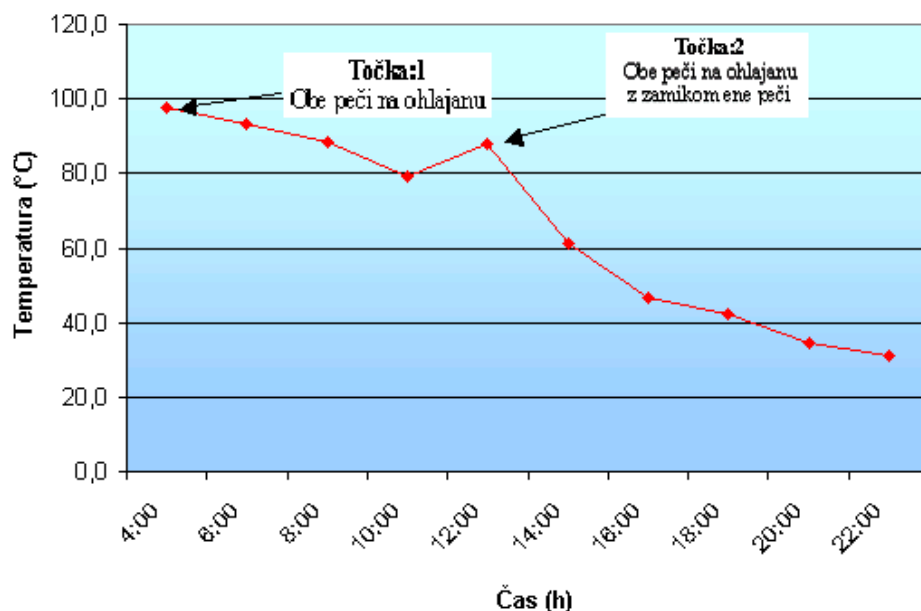
Pri žarilni peči PP-JZA 9000/1000 je ohlajevalna komora sestavljena iz dveh ohlajevalnih mest, ki imata skupni izstopni del prezračevalnega sistema. Na sliki 17 je prikazana izmerjena temperatura prezračevalnega zraka v časovnem intervalu 18 ur z intervalom vzorčenja dve uri. Ob 8. uri smo v ohlajevalno komoro vstavili retorto (točka 1). Temperatura zraka na izstopu iz ohlajevalne komore je bila 48,2 °C. Po eni uri ohlajanja je temperatura izstopnega zraka padla na 33 °C, nato je do 18. ure enakomerno padala do 24 °C. Ob 19.30 smo v sosednjo ohlajevalno komoro vstavili še drugo retorto (točka 2). Posledično je temperatura v prezračevalni ventilaciji narasla na 54 °C. Med ohlajanjem dveh retort je temperatura do 22. ure padla na 43 °C, do 2. ure zjutraj pa na 32 °C. Meritve kažejo, da je povprečna temperatura v prezračevalni ventilaciji po eno uri ohlajanja ene retorte 29 °C, pri ohlajanju dveh retort pa 38 °C. Ohlajevalni komori delujeta nepretrgoma, izmerjen temperaturni potek je tipičen za tehnološki postopek 13131006. Po vstavitvi retorte v ohlajevalno komoro temperatura narase in je vsaj tri ure na dan nad 50 °C. Ohlajanje ene retorte znaša 12 ur. Meritev smo izvedli v prezračevalnem sistemu ohlajevalne komore 2 m nad nivojem peči med potekom tehnološkega postopka 13131006.



Slika 17: Temperatura zraka v prezračevalni ventilaciji žarilne peči PP-JZA 9000/1000 med potekom tehnološkega postopka 13131006

6.2.2 PP-JZA 8000/1000

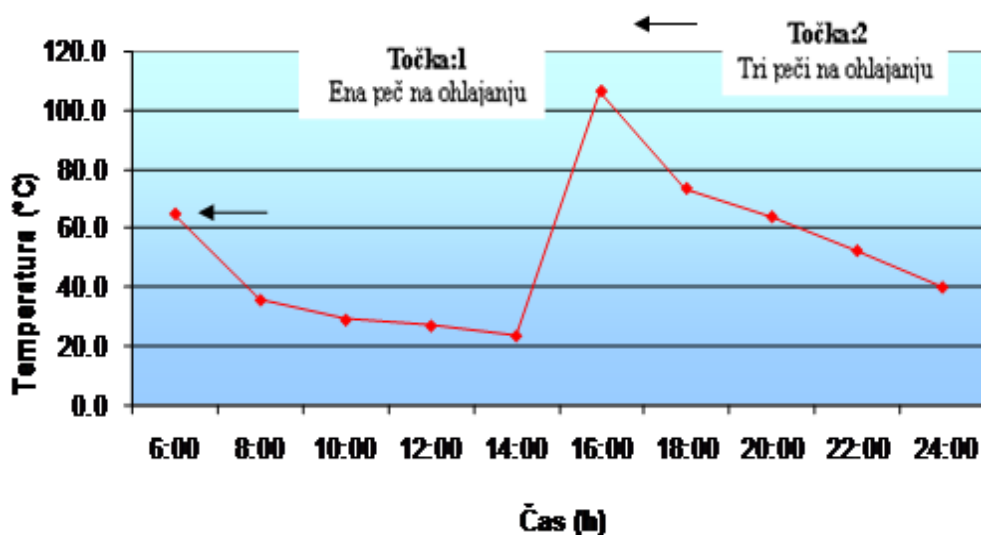
Pri žarilni peči PP-JZA 8000/1000 je ohlajevalna komora sestavljena iz dveh ohlajevalnih mest, ki imata skupni izstopni del prezračevalnega sistema. Na sliki 18 je prikazana izmerjena temperatura prezračevalnega zraka v časovnem intervalu 18 ur z intervalom vzorčenja dve uri. Ob 4.30 smo v ohlajevalno komoro vstavili retorto (točka 1). Temperatura zraka na izstopu iz ohlajevalne komore je bila 97,6 °C. Po šestih urah ohlajanja je temperatura izstopnega zraka padla na 78 °C. Ob 12.30 smo v sosednjo ohlajevalno komoro vstavili še drugo retorto (točka 2). Posledično je temperatura v prezračevalni ventilaciji narasla na 85 °C. Med ohlajanjem dveh retort je temperatura do 15. ure padla na 61 °C, do 22. ure pa na 26 °C. Meritve kažejo, da je povprečna temperatura v prezračevalni ventilaciji po eno uri ohlajanja ene retorte 84 °C, pri ohlajanju dveh retort pa 50,7 °C. Ohlajevalni komori delujeta nepretrgoma, izmerjen temperaturni potek je tipičen za tehnološki postopek 13100029. Po vstavitvi retorte v ohlajevalno komoro temperatura narase in je vsaj dve uri na dan nad 60 °C. Ohlajanje ene retorte znaša 12 ur. Meritev smo izvedli v prezračevalnem sistemu ohlajevalne komore 2 m nad nivojem peči med potekom tehnološkega postopka 13100029.



Slika 18: Temperatura zraka v prezračevalni ventilaciji žarilne peči PP-JZA 8000/1000 med potekom tehnološkega postopka 13100029

6.2.3 PP-JZA 4700/1000

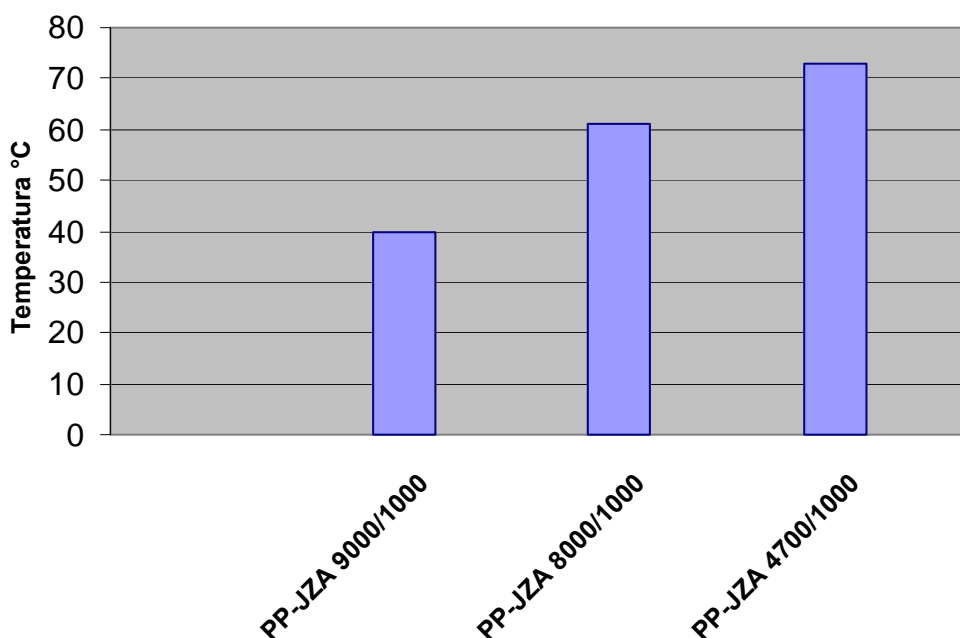
Pri žarilni peči PP-JZA 4700/1000 je ohlajevalna komora sestavljena iz dveh ohlajevalnih mest, ki imata skupni izstopni del prezračevalnega sistema. Na sliki 19 je prikazana izmerjena temperatura prezračevalnega zraka v časovnem intervalu 18 ur z intervalom vzorčenja dve uri. Ob 7. uri smo v ohlajevalno komoro vstavili retorto (točka 1). Temperatura zraka na izstopu iz ohlajevalne komore je bila 63 °C. Po osmih urah ohlajanja je temperatura izstopnega zraka padla na 23 °C. Ob 17. uri smo v sosednjo ohlajevalno komoro vstavili še drugo retorto (točka 2). Posledično je temperatura v prezračevalni ventilaciji narasla na 108 °C. Med ohlajanjem dveh retort je temperatura do 19. ure padla na 66 °C, do 1. ure zjutraj pa na 40 °C. Meritve kažejo, da je povprečna temperatura v prezračevalni ventilaciji po dveh urah ohlajanja ene retorte 38 °C, pri ohlajanju dveh retort pa 65 °C. Ohlajevalni komori delujeta nepretrgoma, izmerjen temperaturni potek je tipičen za tehnološki postopek 13900054. Po vstavitvi retorte v ohlajevalno komoro temperatura narase in je vsaj dve uri na dan nad 80 °C. Ohlajanje ene retorte znaša 12 ur. Meritev smo izvedli v prezračevalnem sistemu ohlajevalne komore 2 m nad nivojem peči med potekom tehnološkega postopka 13900054.



Slika 19: Temperatura zraka v prezračevalni ventilaciji žarilne peči PP-JZA 4700/1000 med potekom tehnološkega postopka 13900054

6.3 Izbran vir odpadne toplote

Analiza je pokazala, da je toplota dimnih plinov manj primerna za ogrevanje proizvodne hale, ker v tretji fazi tehnološkega procesa, ko se peč ohlaja na temperaturo 550 °C, grelniki ne delujejo in štiri ure ogrevanje proizvodne hale ne bi delovalo. Iz izmerjenih podatkov smo ugotovili, da je najustreznejši vir odpadne toplote toplota zraka v ohlajevalnih komorah. Tri dvojne ohlajevalne komore so enakomerno razporejene v proizvodni hali. Na sliki 20 je prikazana povprečna temperatura ohlajanja na treh ohlajevalnih lokacijah. V nadaljevanju je opisana povprečna temperatura prezračevalnega zraka v ohlajevalnih komorah v delovnem ciklu posameznega tipa žarilnih peči.



Slika 20: Povprečna temperatura prezračevalnega zraka v ohlajevalnih komorah posameznih tipov žarilnih peči

- V ohlajevalnih komorah žarilnih peči tipa PP-JZA 9000/1000 je pri tehnološkem postopku 13131006 v povprečju 10,5 ure na ohlajanju ena retorta s povprečno temperaturo prezračevalnega zraka 36 °C in 7,5 ure dve retorti s povprečno temperaturo prezračevalnega zraka 44 °C. Celoten cikel traja 18 ur s povprečno temperaturo 40 °C in se nepretrgoma ponavlja.
- Pri meritvah prezračevalnega zraka ohlajevalnih komor žarilnih peči tipa PP-JZA 8000 /1000 sta potekala dva tehnološka postopka. Pri tehnološkem postopku 15900054 je v povprečju 8,5 ure na ohlajanju ena retorta s

povprečno temperaturo prezračevalnega zraka 84 °C in 9,5 ure dve retorti s povprečno temperaturo prezračevalnega zraka 38 °C. Pri drugi retorti je bil uporabljen tehnološki postopek 13131006. Celoten cikel traja 18 ur s povprečno temperaturo 61 °C in se nepretrgoma ponavlja.

- V ohlajevalnih komorah žarilnih peči tipa PP-JZA 4700/1000 je pri tehnološkem postopku 15900054 v povprečju 10 ur na ohlajanju ena retorta s povprečno temperaturo prezračevalnega zraka 66 °C in 8 ur dve retorti s povprečno temperaturo prezračevalnega zraka 80 °C. Celoten cikel traja 18 ur s povprečno temperaturo 73 °C in se nepretrgoma ponavlja.

7 IZKORIŠČANJE TOPLOTE ODPADNEGA TEHNOLOŠKEGA ZRAKA ZA OGREVANJE PROIZVODNE HALE

Toploto prezračevalnega zraka ohlajevalnih komor bomo izkoristili za segrevanje svežega dovodnega zraka iz okolice. Prenos toplote bo potekal v križnih ploščnih prenosnikih toplote zrak/zrak. Količina prenešene toplote je odvisna od površine prenosnika toplote in temperaturne razlike med zračnima tokovoma.

7.1 Glavni deli prenosnika toplote

- **Ohišje**

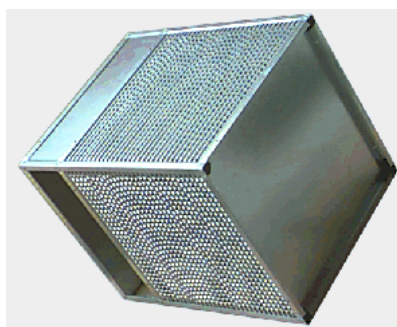
Ohišje, prikazano na sliki 21, je sestavljeno iz jeklenih galvaniziranih plošč sendvič izdelave. Napolnjeno je z mineralno volno velike gostote, ki omogoča toplotno in zvočno izolacijo. Notranjost enote sestavljajo sendvič plošče in samonosilne plošče, izolirane z izolacijsko peno. Ohišje je sestavljeno tako, da omogoča hiter dostop do vitalnih delov prenosnika toplote, kar omogoča učinkovito vzdrževanje in redno letno čiščenje vitalnih delov.¹⁴



Slika 21: Ohišje prenosnika toplote¹⁴

- **Križni ploščni prenosnik toplote**

Tokova toplega in hladnega zraka sta ločeno usmerjena skozi križni ploščni prenosnik toplote. Toplota se preko sten prenosnika prenaša s toplega na hladni zrak. Na sliki 22 je prikazan primer prenosnika toplote, izdelanega iz tankih aluminijastih lamel.¹⁴ Tipična učinkovitost križnega ploščnega prenosnika toplote je 75 %.



Slika 22: Križni ploščni prenosnik toplote¹⁴

- **Sesalni in izpušni ventilator**

Največkrat so ventilatorji radialne izvedbe. Omogočajo transport zraka in premagovanje uporov v kanalih in filtrih. Imajo naprej zakrivljene lopatice in so direktno gnani preko elektromotorja, kar zmanjša velikost naprave.

- **Zračni filter**

Zračni filter je sestavljen iz sintetičnih materialov in preprečuje vnašanje trdih delcev in živih organizmov. Vstavljen je v vodila, ki omogoča hitro čiščenje in vzdrževanje. Filter je lahko nameščen na vhodu odpadnega zraka in/ali na vhodu svežega zraka v ogrevalne kanale.

7.2 Elementi za vključitev prenosnika toplote v ogrevalni sistem

- **Kanalski ventilatorji**

Za vpihovanje zraka v razvodne kanale uporabljamo kanalske ventilatorje, slika 23, ki omogočajo velike pretoke zraka pri zmernem tlaku. Lopatice rotorjev so izdelane iz kvalitetne pocinkane pločevine in delujejo v temperaturnem območju od -30°C do 130°C ¹⁵. Smer pretoka zraka je mogoča v obeh smereh. Za pogon ventilatorjev se vgrajujejo eno- ali dvostopenjski elektromotorji z zunanjim rotorjem.



Slika 23: Kanalski ventilator¹⁵

- **Razvodni kanali**

Giblivi prezračevalni kanali omogočajo enostaven in hiter priklop distribucijskih in drugih elementov v kanalski sistem. Med pribor za priključitev sodijo profili in kotniki za prirobnice, tesnilni trakovi, elementi kanalske regulacije, zaporne lopute, žaluzije, strešne kape, elementi za spajanje in pritrjevanje, in pribor za testiranje tesnosti kanalskega sistema, slike 24-26¹⁵. Kanali za razvod zraka do elementov za vtok in iztok so lahko v različnih izvedbah. Običajno so pravokotnega ali okroglega preseka iz pocinkane pločevine, okrogli so navadno izdelani iz spiralno navitih trakov pločevine.



Slika 24: Pocinkani kanali¹⁵



Slika 25 : Stropni distributer zraka¹⁵



Slika 26: Elektronski regulator pretoka zraka¹⁵

7.3 Potrebni toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale pri projektnih pogojih

Toplotni tok za pokrivanje toplotnih izgub proizvodne hale pri projektnih pogojih izračunamo kot zmnožek skupnega specifičnega toplotnega toka stavbe in razlike notranje in zunanje temperature. Pri izračunu potrebnega toplotnega toka za proizvodno halo uporabimo projektne pogoje, ki znašajo za območje Nove Gorice¹⁶:

- projektna temperatura ($T_{out} = -7^{\circ}\text{C}$)
- temperaturni primanjkljaj ($TP = 2500 \text{ K dan/leto}$)
- trajanje kurilne sezone ($\tau_{\text{kurilna sezona}} = 205 \text{ dni}$)

$$\dot{Q}_{izg} = H(T_{in} - T_{out}) \quad (8.1)$$

V enačbo 8.1. vstavimo podatke:

H Skupni specifični toplotni tok stavbe (21312,29 W/K)

T_{in} Notranja temperatura (20°C)

T_{out} Projektna zunanja temperatura (-7°C)

Toplotni tok za pokrivanje toplotnih izgub proizvodne hale pri projektnih pogojih:

$$\dot{Q}_{izg} = 575,875 \text{ kW} .$$

Celotni potrební toplotni tok za ogrevanje stavbe dobimo tako, da od toplotnega toka za pokrivanje toplotnih izgub odštejemo toplotne dobitke stavbe. Toplotne dobitke stavbe dobimo tako, da površino tal proizvodne hale pomnožimo z v standardu SIST EN ISO 6946 priporočeno vrednostjo, ki znaša 5 W/m^2 .¹⁰

$$\dot{Q}_{cel} = \dot{Q}_{izg} - \dot{Q}_{dob} \quad (8.2)$$

V enačbo 8.2. vstavimo podatke:

$$\dot{Q}_{izg} \quad \text{Toplotni tok za pokrivanje toplotnih izgub (575,875 kW)}$$

$$\dot{Q}_{dob} \quad \text{Priporočena vrednost po standardu SIST EN ISO 6946 glede na površino prostora (} \dot{Q}_{dob} = A_{tal} \cdot 5 \text{ W/m}^2 = 15,475 \text{ kW)}$$

$$\text{Celotni potrební toplotni tok za ogrevanje stavbe: } \dot{Q}_{cel} = 560,4 \text{ kW} .$$

7.4 Potrebna toplota za ogrevanje proizvodne hale pri projektnih pogojih

Celotno potrebno toploto za pokrivanje toplotnih izgub proizvodne hale v enem letu izračunamo kot zmnožek skupnega specifičnega toplotnega toka stavbe in temperaturnega primanjkljaja v odvisnosti od časa trajanja kurilne sezone, in odštejemo toplotne dobitke.

Potrebno toploto za pokrivanje toplotnih izgub proizvodne hale izračunamo po enačbi:

$$Q_{tp} = H TP \frac{24}{1000} \quad (8.3)$$

Vstavimo:

$$H \quad \text{Skupni specifični toplotni tok stavbe (21312,29 W/K)}$$

$$TP \quad \text{Temperaturni primanjkljaj (2500 K·dan/leto)}$$

$$\text{Iz enačbe 8.3 dobimo: } Q_{tp} = 1279,7 \text{ MWh/leto} .$$

Odštejemo toplotne dobitke in celotno potrebno toploto izračunamo po enačbi:

$$Q_{cel} = Q_{tp} - Q_{dob} \quad (8.4)$$

Vstavimo:

$$Q_{dob} \quad \text{toplotni dobitki}^{10} \quad (Q_{dob} = \dot{Q}_{dob} \tau_{kurilna \text{ sezona}} = 3,18 MWh)$$

Iz enačbe dobimo: $Q_{cel} = 1276,5 \text{ MWh/leto}$.

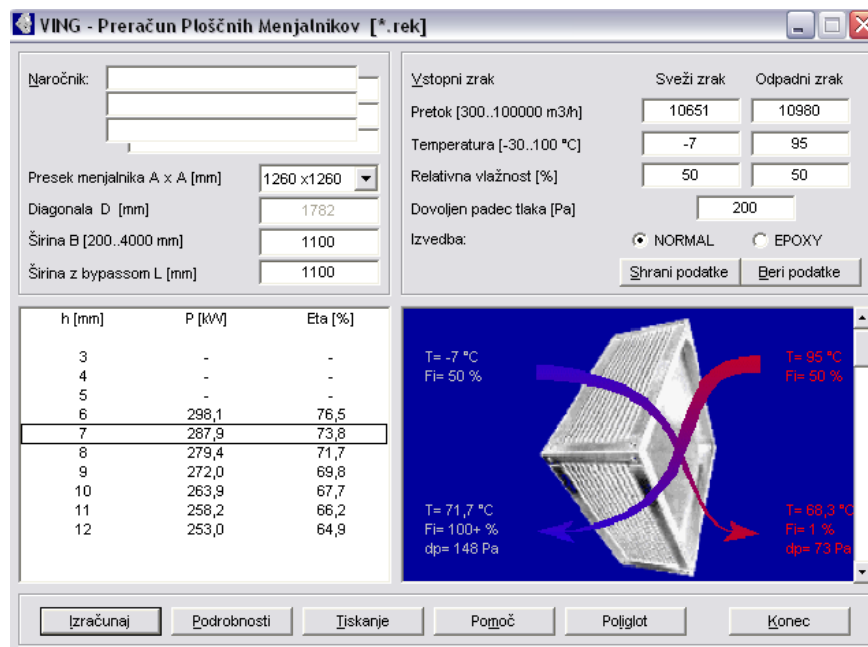
Celotna potrebna toploto za pokrivanje toplotnih izgub proizvodne hale z upoštevanjem projektnih pogojev znaša 1276,5 MWh na leto.

7.5 Izračun parametrov prenosnika toplote

Za rekuperacijo zraka smo izbrali ploščni prenosnik toplote s križnim tokom. Pri izbiri ustreznega prenosnika toplote smo uporabili program podjetja Ving, slika 27¹⁷. V program vstavimo izmerjeno temperaturo prezračevalnega zraka v ohlajevalnih komorah. Program izračuna moč prenosnika toplote in določi izkoristek pri izbrani višini lamel in dimenzijah rekuperatorja. Izberemo prečni presek ploščnega prenosnika toplote 1260 x 1260 mm pri širini 1100 mm. Poleg ogrevanja mora predlagani sistem zagotoviti ustrezno prezračevanje hale. Povprečna vrednost znaša 0,3 izmenjave zraka v eni uri. Da temu zadostimo, mora pri volumnu hale 35506,25 m³ biti volumski tok svežega zraka 10651 m³/h. Volumski tok odpadnega procesnega zraka iz ohlajevalnih komor, s katerim segrevamo svež dovodni zrak, je definiran s kapaciteto ventilatorjev in znaša 10980 m³/h. Temperatura zunanjega zraka je projektna temperatura za področje Nove Gorice, ki znaša - 7 °C. Predpišemo dovoljeni padec tlaka skozi prenosnik toplote 200 Pa, ki definira obliko in moč ventilatorja na prenosniku toplote.

Pri izračunu toplote in toplotnega toka, ki se prenese iz vročega procesnega na hladen dovodni zrak, smo s pomočjo izmerjenih podatkov iz poglavja 6 diskretizirali celoten tehnološki cikel v posamezni peči na krajše intervale s približno konstantno temperaturo procesnega zraka iz ohlajevalnih komor. Upoštevali smo samo intervale, v katerih je temperatura procesnega zraka 35 ali več stopinj Celzija. S pomočjo programa Ving smo pri izbranih parametrih prenosnika toplote in s pomočjo izmerjenih podatkov o režimu tehnološkega procesa določili toplotni tok in

izkoristek ter izračunali preneseno toploto rekuperatorja v diskretiziranem intervalu pri posamezni žarilni peči. Rezultati so prikazani v tabelah 12 (peč PP-JZA 9000/1000), 13 (peč PP-JZA 4700/1000) in 14 (peč PP-JZA 8000/1000).



Slika 27: Program VING – Preračun ploščnih prenosnikov toplote s križnim tokom¹⁷

Tabela 12: Parametri izbranega ploščnega prenosnika toplote za peč tip PP-JZA 9000/1000

Povprečna temperatura (°C)	Čas (h/dan)	Toplota (kWh)	Toplotni tok (kW)	Izkoristek (%)
35	8,0	874,4	108,2	73,2
45	6,5	933,4	142,2	77,4
55	1,5	261,6	157,7	78,4

Tabela 13: Parametri izbranega ploščnega prenosnika toplote za peč tip PP-JZA 4700/1000

Povprečna temperatura (°C)	Čas (h/dan)	Toplota (kWh)	Toplotni tok (kW)	Izkoristek (%)
35	4,0	437,2	108,2	73,2
45	3,5	502,6	142,2	77,4
55	3,5	610,4	157,7	78,4
65	2,5	504,3	203,7	77,4
75	2,5	608,3	241,7	80,9
85	2,0	536,4	266,3	78,1
95	2,0	575,8	285,8	73,8

Tabela 14: Parametri izbranega ploščnega prenosnika toplote za peč tip PP-JZA 8000/1000

Povprečna temperatura (°C)	Čas (h/dan)	Toplota (kWh)	Toplotni tok (kW)	Izkoristek (%)
35	2,0	218,6	108,2	73,2
45	3,0	430,8	142,2	77,4
55	3,5	610,4	157,7	78,4
65	1,0	201,7	203,7	77,4
75	0,5	121,7	241,7	80,9
85	6,0	1609,2	266,3	78,1
95	6,0	1727,4	285,8	73,8

7.6 Razpoložljivi toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale z upoštevanjem projektnih pogojev

V poglavju 7.3 smo izračunali celotni potrebni toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale pri projektnih pogojih, ki znaša 560,4 kW. Pri oceni celotnega razpoložljivega toplotnega toka smo pri vseh treh rekuperatorjih diskretizirali režim delovanja na enako dolge intervale in ocenili odstotek pokritosti potrebnega toplotnega toka z razpoložljivim toplotnim tokom iz rekuperatorjev. V tabeli 15 je prikazan toplotni tok iz vseh treh prenosnikov toplote v času 24 ur.

Tabela 15 : Razpoložljive moči vseh treh prenosnikov toplote ob projektnih pogojih

	Peč JZA 8000/1000	Peč JZA 4700/1000	Peč JZA 9000/1000	
Čas (h/dan)	Toplotni tok (kW)	Toplotni tok (kW)	Toplotni tok (kW)	Odstotek pokritosti (%)
2	108,2	108,2	108,2	57,91
2	142,2	108,2	108,2	64,02
2	157,7	142,4	108,2	72,85
2	173,0	150,1	108,2	76,94
2	203,7	173,0	142,4	92,61
2	266,3	186,5	142,4	106,20
2	266,3	210,4	142,4	110,47
2	266,3	241,7	165,3	120,14
2	285,8	266,3	0	98,51
2	285,8	285,8	0	101,99
2	285,8	0	0	50,99
2	0	0	0	0
Σ=24 h/dan				Skupaj: 79,39 %

Če je temperatura procesnega zraka iz ohlajevalnih komor manjša od 35 °C, je temperaturna razlika premajhna in rekuperator ne more segreti zunanjšega zraka na potrebnih 20 °C, zato upoštevamo, da je v tem primeru toplotni tok enak nič. Iz tabele 15 vidimo, da je povprečen odstotek pokritosti potrebnega z razpoložljivim toplotnim tokom pri projektnih pogojih 79,39 %, kar pomeni, da lahko iz odpadnega procesnega toplotnega toka v povprečju pretvorimo 445 kW toplotnega toka za ogrevanje proizvodne hale. Razliko 20,61 % ali 115,4 kW bi v primeru nizkih zunanjih temperatur zagotavljal obstoječi sistem centralnega ogrevanja.

Glede na izkušnje so projektni pogoji za Novo Gorico zelo ostro postavljeni, zato smo naš predlog ogrevalnega sistema analizirali še na osnovi realnih meteoroloških podatkov v preteklih letih.

7.7 Razpoložljivi toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale z upoštevanjem realnih meteoroloških podatkov v preteklih kurilnih sezonah

Zbrali in statistično obdelali smo izmerjene povprečne temperature v minulih kurilnih sezonah.¹¹ Analiza podatkov je pokazala, da so realne povprečne temperature za območje Nove Gorice bistveno višje od projektne temperature, ki je predpisana na -7 °C¹⁶. V tabeli 16 so prikazane povprečne zunanje temperature v kurilnih sezonah od leta 1981. S temi podatki smo z enačbama 8.1 in 8.2 izračunali celotni potrebni toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale v obravnavanih kurilnih sezonah.

Tabela 16: Dejanski potreben toplotni tok v kurilnih sezonah

Kurilna sezona	Povprečna zunanja temperatura (°C)	Celotni potreben toplotni tok (kW)	Odstotek pokritosti (%)
1981-1990	6,5	273	163
1991-2000	7,3	254	175
2000 - 2001	8,2	236	188
2001 - 2002	7,5	251	177
2002 - 2003	7,7	246	180
2003 - 2004	7,3	255	174
2004 - 2005	7,1	259	171
2005 - 2006	7,5	251	177
2006 - 2007	9,7	204	218

Odstotek pokritosti smo izračunali na osnovi toka za ogrevanje proizvodne hale, ga je v povprečju možno pretvoriti iz odpadnega procesnega toplotnega toka in znaša 445 kW.

Iz tabele 16 je razvidno, da povprečna zunanja temperatura v Novi Gorici od leta 1981 med kurilno sezono ni bila nižja od 6,46 °C. Presežek toplotnega toka se giblje od 63 % glede na podatke iz kurilnih sezon 1981-1990 do 118 % v kurilni sezoni 2006/2007.

Izmerjene temperature zunanjega zraka v preteklih kurilnih sezonah kažejo, da so projektni pogoji za območje Nove Gorice zelo strogo postavljeni. Z upoštevanjem realnih podatkov lahko ugotovimo, imamo na razpolago presežke odpadnega toplotnega toka za ogrevanje proizvodne hale in bi z ustrezno regulacijo in preusmeritvijo procesnega zraka mimo rekuperatorjev (by-pass) lahko ustrezno in v celoti ogrevali proizvodno halo.

7.8 Razpoložljiva toplota

Razpoložljivo toploto za ogrevanje proizvodne hale, ki jo lahko pretvorimo iz odpadnega procesnega zraka, izračunamo tako, da seštejemo razpoložljivo dnevno toploto iz vseh rekuperatorjev (podatki v tabelah 12 do 14) in vsoto pomnožimo z dejanskim številom kurilnih dni v obravnavani kurilni sezoni 2005/2006, ter prištejemo toplotne dobitke v celotni ogrevalni sezoni.

$$Q_{razp} = Q_{proc} \tau_{kurilna\ sezona} + Q_{dob} \quad (10.4)$$

V enačbo 10.4. vstavimo podatke:

Q_{proc} procesna toplota iz treh prenosnikov toplote (10764,05 kWh/dan)

Q_{dob} toplotni dobitki¹⁰ (2449 kWh)

$\tau_{kurilna\ sezona}$ število kurilnih dni v kurilni sezoni 2005-2006 (158 dni)

Razpoložljiva toplota za ogrevanje proizvodne hale, ki jo lahko pretvorimo iz odpadnega procesnega zraka: $Q_{razp} = 1712,2$ MWh/leto .

V poglavju 7.4 smo izračunali, da pri projektnih pogojih potrebujemo 1276,5 MWh na leto za ogrevanje proizvodne hale. Razpoložljiva toplota iz treh prenosnikov

toplote v kurilni sezoni 2005/2006 je znašala 1712,2 MWh in predstavlja povprečno vrednost ob zdajšnjem obsegu proizvodnega procesa. Razpoložljiva toplota presega potrebno toploto za ogrevanje z upoštevanjem projektnih pogojev za 35 % in s tem zadošča tudi potrebam z upoštevanjem realnih meteoroloških podatkov v preteklih kurilnih sezonah. Dejstvo, da smo pri upoštevanju projektnih pogojev ugotovili, da imamo iz odpadnega procesnega zraka toplotnega toka premalo in toplote preveč, potrjuje našo ugotovitev, da projektni temperaturni primanjkljaj nastane pri višjih temperaturah, kot je nizko postavljena projektna temperatura -7°C za območje Nove Gorice, kar lahko vodi v predimenzioniranje ogrevalnih naprav pri projektiranju.

8 UČINKI PREDLAGANE REŠITVE

Naraščajoči stroški energije in odpiranja novih trgov so priložnost, da podjetja pridobijo pomembno konkurenčno prednost pred svojimi tekmeci. Dejstvo je namreč, da postajajo z razvojem energetskih, komunikacijskih in informacijskih znanj in tehnologij stroški za energijo čedalje bolj obvladljivi. Vendar le celostni pristop k obravnavanju problema energetike pripelje do trajne rešitve, manjše porabe, manjšega obremenjevanja okolja in manjših stroškov za energijo. V nadaljevanju smo analizirali energetske, ekološke in ekonomske učinke predlaganega sistema za izkoriščanja odpadnega procesnega zraka za ogrevanja proizvodne hale.

8.1 Energetski učinki

Z uvedbo novega sistema ogrevanja proizvodne hale z rekuperacijo toplote ohlajevalnih komor žarilnih peči lahko na kurilno sezono prihranimo 127720,55 m³ zemeljskega plina, kolikor smo ga v podjetju porabili za ogrevanje proizvodne hale v kurilni sezoni 2005/2006.

8.2 Ekološki učinki

Glavna elementa fosilnih goriv sta ogljik (C) in vodik (H) oziroma spojine teh dveh elementov. Pri zgorevanju nastaja ogljikov dioksid (CO₂) in vodna para (H₂O), pri nepopolni oksidaciji še ogljikov monoksid (CO) in druge komponente. V tabeli 17 je prikazano potencialno zmanjšanje emisij ob realizaciji predlaganega ogrevalnega sistema.

Tabela 17: Potencial za zmanjšanje emisij, ki so nastale pri zgorevanju zemeljskega plina v ogrevalni sezoni 2005/2006

Komponente dimnih plinov	Volumska koncentracija v dimnih plinih %	Komponenta dimnih plinov/zemeljski plin (m ³ /m ³ plina)	Skupno zmanjšanje emisij v kurilni sezoni 2005/2006 m ³
CO	25,2	0,126	16092,7
H ₂	16,8	0,084	10728,5
CH ₄	2,5	0,050	6386,0
CO ₂	5,2	0,052	6641,4
N ₂	49,3	0,493	62966,2
O ₂	1,0	-0,010	-1277,2

Vrednosti emisij posameznih snovi v tabeli 17 smo izračunali na osnovi količine porabljenega zemeljskega plina v kurilni sezoni 2005/2006 in sestavi dimnih plinov, ki so jo izmerili na rednih vzdrževalnih pregledih žarilnih peči.¹³ Emisija toplogrednih plinov (CO₂ in CH₄) bi se zmanjšala za 118,5 ton_{CO₂eq.}¹⁸

8.3 Ekonomski učinki

- **Denarni tok pred investicijo**

Stroški, ki nastajajo pri ogrevanju proizvodne hale v kurilni sezoni, zajemajo: vzdrževanje opreme in rezervne dele, porabo električnega toka in porabo zemeljskega plina v kurilni sezoni. V tabeli 18 je prikazan denarni tok pred investicijo v predlagani sistem ogrevanja z izkoriščanjem odpadnega procesnega zraka. Iz tabele je razvidno, da bo imelo podjetje pri obstoječem ogrevalnem sistemu v letu 2008 za 54828 € odливov, ki vključujejo navedene stroške. Ob predpostavki, da bodo odlivi linearno naraščali za 5 % na leto zaradi inflacije in obrabljenosti obstoječe opreme, bodo stroški za ogrevanje po petih letih znašali 69975 €.

Tabela 18: Denarni tok pred investicijo

Struktura	Ekonomska doba projekta					
	0.	1.	2.	3.	4.	5.
leto	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ODLIVI	54828 €	57569 €	60447 €	63469 €	66643 €	69975 €
Amortizacija	0	0	0	0	0	0
Vzdrževanje in obnavljanje	850 €	892 €	937 €	983 €	1033 €	1085 €
Električni tok	4167 €	4375 €	4594 €	4823 €	5065 €	5318 €
Zemeljski plin	49811 €	52302 €	54916 €	57662 €	60545 €	63572 €

- **Denarni tok po investiciji z upoštevanjem projektnih pogojev**

Z upoštevanjem projektnih pogojev pri preračunu predlaganega sistema za ogrevanje proizvodne hale smo ugotovili, da iz odpadne toplote žarilnih peči dobimo 20,61 % premalo toplotnega toka. Primanjkljaj bi v primeru nizkih zunanjih temperatur pokrili z obstoječim sistemom centralnega toplozračnega ogrevanja. V tabeli 19

lahko vidimo, da bi imelo podjetje po investiciji v predlagan ogrevalni sistem z upoštevanjem projektnih pogojev v letu 2008 za 129913 € odlivov, kar vključuje investicijo, ki po ponudbi proizvajalca znaša 105000 €, vzdrževanje in obnavljanje opreme, stroške za električno energijo, ki bi se povečali zaradi dodatnih treh ventilatorjev na rekuperatorjih, in stroške za zemeljski plin, s katerim bi pokrili primanjkljaj razpoložljive procesne toplote za ogrevanje. Ob predpostavki, da bodo odlivi linearno naraščali za 5 % na leto zaradi inflacije in obrabljenosti obstoječe opreme, bi stroški za ogrevanje ob poteku ekonomske dobe investicije po petih letih znašali 52795 €. Stroški bi se po investiciji z upoštevanjem projektnih pogojev v letu 2013 zmanjšali za 10777 € ali za 17 %.

Tabela 19: Denarni tok po investiciji z upoštevanjem projektnih pogojev

Struktura	Ekonomska doba projekta					
	0.	1.	2.	3.	4.	5.
leto	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ODLIVI	129913 €	47157 €	48467 €	49839 €	51281 €	52795 €
Investicija	105000 €	0	0	0	0	0
Amortizacija	0	21000 €	21000 €	21000 €	21000 €	21000 €
Vzdrževanje in obnavljanje	850 €	892 €	937 €	983 €	1033 €	1085 €
Električni tok	13797 €	14486 €	15212 €	15972 €	16770 €	17608 €
Zemeljski plin za dogrevanje pri projektnih pogojih	10266 €	10779 €	11318 €	11884 €	12478 €	13102 €

- **Denarni tok po zaključeni investiciji hale z upoštevanjem realnih meteoroloških podatkov**

Z upoštevanjem realnih meteoroloških podatkov pri preračunu predlaganega sistema za ogrevanje proizvodne hale smo ugotovili, da lahko z odpadno toploto žarilnih peči zagotovimo vso potrebno toploto za ogrevanje proizvodne hale. V tabeli 20 lahko vidimo, da bi imelo podjetje po investiciji v predlagan ogrevalni sistem z upoštevanjem realnih meteoroloških podatkov v letu 2008 za 119647 € odlivov, kar

vključuje investicijo, ki po ponudbi proizvajalca znaša 105000 €, vzdrževanje in obnavljanje opreme in stroške za električno energijo, ki bi se povečali zaradi dodatnih treh ventilatorjev na rekuperatorjih. Amortizacijska doba projekta znaša pet let, višina amortizacije znaša 21000 € na leto. Ob predpostavki, da bodo odlivi linearno naraščali za 5 % na leto zaradi inflacije in obrabljenosti obstoječe opreme, bi stroški za ogrevanje ob poteku ekonomske dobe investicije po petih letih znašali 39693 €. Stroški bi se po investiciji z upoštevanjem realnih meteoroloških podatkov v letu 2013 zmanjšali za 30282 € ali za 43 %.

Tabela 20: Denarni tok po zaključeni investiciji hale z upoštevanjem realnih meteoroloških podatkov

Struktura	Ekonomska doba projekta					
	0.	1.	2.	3.	4.	5.
leto	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ODLIVI	119647 €	36378 €	37149 €	37955 €	38803 €	39693 €
Investicija	105000 €	0	0	0	0	0
Amortizacija		21000 €	21000 €	21000 €	21000 €	21000 €
Vzdrževanje in obnavljanje	850 €	892 €	937 €	983 €	1033 €	1085 €
Električni tok	13797 €	14486 €	15212 €	15972 €	16770 €	17608 €

Pri simulaciji stroškov ogrevanja v letu 2014 upoštevajmo enako stopnjo letne rasti stroškov. Ker je investicija izplačana, ostanejo redni obratovalni stroški za vzdrževanje in obnavljanje opreme in stroške za električno energijo. Ob teh predpostavkah bodo brez predlagane investicije v letu 2014 stroški za ogrevanje proizvodne hale znašali 73474 €, ob investiciji v predlagani ogrevalni sistem z izkoriščanjem odpadne procesne toplote pa 19628 €. Stroški bi se zmanjšali za 53846 € ali za 73 %. Življenjska doba komponent predlaganega ogrevalnega sistema znaša v povprečju 25 let. Pri enakih razmerjih med cenami energentov bi podjetje z investicijo v ogrevalni sistem proizvodne hale z izkoriščanjem odpadne toplote žarilnih peči v 20 letih pri stroških za ogrevanje prihranilo več kot milijon €.

9 ZAKLJUČKI

V diplomskem delu smo preučili možnosti za izkoriščanje odpadne toplote žarilnih peči za ogrevanje proizvodne hale. Tehnološki procesi termične obdelave potekajo neprekinjeno, pri čemer se pojavljajo trije viri odpadne toplote: toplota dimnih plinov, toplota zraka iz ohlajevalnih komor in toplota zraka v delovni jami. Z meritvami procesnih parametrov in temperature odpadnega zraka smo določili, da je toplota zraka ohlajevalnih komor najustreznejši vir odpadne toplote. Izračunali smo toplotne izgube proizvodne hale po standardu SIST EN ISO 6946 in rezultate verificirali z dejansko porabljeno toploto v kurilni sezoni 2005/2006. Povprečna napaka med izračunano in dejansko porabljeno toploto znaša 5,7 %, kar potrjuje ustreznost modela. V predlaganem sistemu za izkoriščanje toplote odpadnega zraka smo izbrali križne ploščne rekuperatorje toplote, v katerih topel odpadni zrak segreva hladen dovodni zrak iz zunanosti hale. Pri projektnih pogojih znaša toplotni tok za ogrevanje proizvodne hale 560 kW. Z razpoložljivim odpadnim toplotnim tokom iz žarilnih peči pokrijemo 79,39 % potrebnega toplotnega toka za ogrevanje. Razliko 21,61 % bi v ekstremnih pogojih zagotovili iz obstoječega centralnega ogrevanja. Izvedli smo analizo podatkov zadnjih 28 kurilnih sezon, ki je pokazala, da so bile povprečne temperature zraka v Novi Gorici znatno višje od projektnih. Pokazali smo, da je pri upoštevanju realnih podatkov o povprečni temperaturi in temperaturnem primanjkljaju na razpolago dovolj toplote in toplotnega toka odpadnega zraka za 100 % pokrivanje potreb za ogrevanju proizvodne hale s predlaganim sistemom za izkoriščanje toplote odpadnega zraka iz procesa termične obdelave. Morebitna realizacija investicije bo imela ugodne energetske, ekološke in ekonomske učinke. Z novim načinom ogrevanja bomo prihranili 127720,55 m³ zemeljskega plina, obenem se bo emisija toplogrednih plinov zmanjšala za ekvivalent 118,5 ton ogljikovega dioksida. Ekonomska analiza investicije je pokazala, da se bodo že med amortizacijsko dobo projekta zmanjšali stroški ogrevanja, v celotni življenjski dobi ogrevalnega sistema proizvodne hale z izkoriščanjem odpadne toplote žarilnih peči pa bodo lahko pri stroških za ogrevanje prihranili več kot milijon evrov.

10 LITERATURA

1. **Kirn, A.** (1994). Narava - Družba - Ekološka zavest. Ljubljana : Fakulteta za družbene vede Univerze v Ljubljani.
2. **Medved, S., Novak, P.** (2000). Varstvo okolja in obnovljivi viri energije. Ljubljana : Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani.
3. **Bivalno ugodje.** Pridobljeno 28.01.2008. s svetovnega spleta:
<http://www.ee.uni-lj.si/EnergijaInOkolje/vaja2.htm>
4. **Jež, M., Kosec, L., Kuzman, K., Marek, Muren, H., Prosenc, V., Puhar, J., Žvab, D., Žvokelj, J.** (1986). Strojno tehnološki priročnik, Ljubljana : Tehniška založba Slovenije.
5. **Tehnična dokumentacija peči za toplotnokemično obdelavo materiala proizvajalca CODERE.** (2000). Šempeter : Iskra Avtoelektrika d.d..
6. **Centralno ogrevanje prostora.** Pridobljeno 15.03.2008 s svetovnega spleta:
http://www.politron-mp.si/revija/ogr_00/ogr_00.htm
7. **Poraba zemeljskega plina v sezoni 2005/2006.** Šempeter : Iskra Avtoelektrika d.d..
8. **Incropera F. P., De Witt D. P.** (1985). Introduction to Heat Transfer. John Wiley & Sons.
9. **Tloris proizvodne hale.** (2007). Šempeter : Iskra Avtoelektrika d.d.
10. **Arkar C.** (2008). Tehnologija instalacij – gradivo za vaje. Ljubljana : Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani.
11. **Meteorološki podatki Ministrstva za okolje, prostor in energijo.** Pridobljeno 15.05.2008 s svetovnega spleta:
<http://www.orso.gov.si/vreme/podnebje/>
12. **Kurilna vrednost zemeljskega plina.** (2007). Šempeter : Iskra Avtoelektrika d.d..
13. **Izkoristek peči.** (2006). Šempeter : Iskra Avtoelektrika d.d..
14. **Prenosnik toplote.** Pridobljeno 26.02.2008 s svetovnega spleta:
http://www.frigor.si/slo/katalog.php?c_id=20&p_id=231&v=product
15. **Ventilatorji in razvodni kanali.** Pridobljeno 10.03.2008 s svetovnega spleta:
<http://www.imp-klimat.si/?k=116&=1>
16. **Pregledovalnik klimatskih podlag Ministrstva za okolje, prostor in energijo.** Pridobljeno 15.05.2008 s svetovnega spleta:
http://193.2.110.244/mop_pp/mop.exe?sifko=2304
17. **Križni ploščni prenosniki.** Pridobljeno 10.02.2008 s svetovnega spleta:
http://ving.si/prenosniki_krizni.html
18. **Gjerkeš H.** (2007). Energetika in energetske naprave-vaje pri predmetu. Nova Gorica : Poslovno tehniška fakulteta Univerze v Novi Gorici.