

Fakultet elektrotehnike i računarstva

Zavod za visoki napon i energetiku

Unska 3, 10000 Zagreb

Zadatak 19 za laboratorij elektroenergetike

Maja Maratović, 0036411852

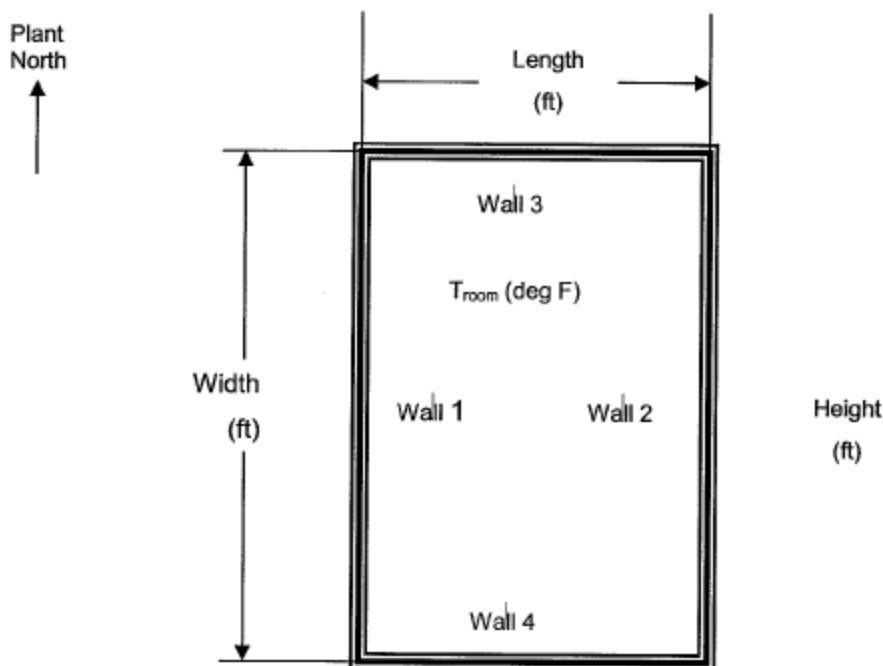
Vedran Lanc, 0036413537

Sadržaj

Zadatak	2
Modeliranje CS sobe.....	4
Modeliranje toplinskih struktura.....	4
Toplinski izvori	5
Hlađenje	6
Proračun	7
Tipovi vodiča.....	7
HTC tipovi	7
Toplinske strukture.....	7
Zaključak	13
Popis slika i tablica.....	13

Zadatak

Potrebno je analizirati porast temperature zraka u prostorijama sa električnom opremom sigurnosne klase u NE. U CS sobi se nalazi pumpa sa pripadajućim cjevovodima. Električni motor se koristi za pogon pumpe. Soba je opremljena HVAC sustavom za hlađenje. Hladnjak je tipa voda-zrak i starta istovremeno sa startom motora pumpe. Pretpostavljeno je da je svaka soba termodinamički izolirana od ostalih. Početna temperatura zraka u sobi je 40°C . Sve toplinske strukture su na temperaturi zraka. Početna relativna vlažnost zraka je 60%. U sobi vlada atmosferski tlak 101325 Pa. Poznate su osnovne dimenzije sobe prema priloženoj slici ($L=3.66\text{ m}$, $W=13.1\text{ m}$, $H=5.94\text{ m}$). Pretpostavljeno je da razna oprema u sobi zauzima do 10% slobodnog volumena. Zidovi i plafon su izrađeni od betona debljine 30 cm odnosno 60 cm. Vanjska strana betona je izolirana. Pod sobe je debljine 91 cm i vanjska temperatura je konstantna na 26.67°C (temperatura tla). Na unutrašnjoj strani zidova/poda/plafona toplina se izmjenjuje prirodnom cirkulacijom koja ovisi o orijentaciji plohe.



Slika 1 - Dimenzije prostorije

Toplinski izvori koje je potrebno modelirati u sobi su: toplinski gubici električnog motora u punom iznosu (poznata je snaga 167.9 kW i stupanj djelovanja 0.935), motora za pogon

ventilatora u punom iznosu (2.24 kW), pola gubitaka nastalih u pumpi (1.64 kW) (ostatak se pretpostavlja da je odnesen strujanjem vode), utjecaj rasvjete u punom iznosu (0.305 kW) i toplinski gubici cjevovoda. Unutrašnji radijus čelične cijevi je 12.7 cm a debljina stijenke je 9.28 mm. Cjevovod se sastoji od horizontalne sekcije vanjske površine prijelaza topline 3.16 m² i vertikalne sekcije vanjske površine prijelaza topline 6.6 m². Gubitke topline iz pumpe aproksimirati uspravnim cilindrom ukupne vanjske površine izmjene topline 3.3 m². Unutrašnja temperatura metalnih struktura je zadana kao vremenski ovisna temperatura vode. Prijenos topline s vanjske površine toplinskih struktura je samo prirodnom cirkulacijom na zrak.

Soba se hladi HVAC uređajem tipa voda-zrak. Projektna rashladna moć izmjenjivača je 25.32 kW, pri volumnom protoku zraka temperature 50°C od 1.82 m³/s i pri volumnom protoku rashladne vode temperature 32.2°C od 2.78 l/s. Izmjenjivač modelirati kao volumni hladnjak s protokom jednakim nazivnom protoku. Rashladna moć neka ovisi linearno o temperaturi zraka u prostoriji i to tako da je prenesena toplinska snaga 0 kW kad je temperatura zraka jednaka ulaznoj temperaturi vode a jednaka projektnoj kad je temperatura zraka u sobi 50°C. Ako ulazna temperatura vode odstupa od projektne potrebno je korigirati prenesenu toplinsku snagu po formuli: $Q_1/Q_2 = (T_{a1}-T_{w1})/(T_{a2}-T_{w2})$. Q_1 i Q_2 su rashladne snage u projektnoj točki i u točki za promijenjenu temperaturu ulazne vode. T_a je temperatura zraka na ulazu u izmjenjivač, a T_w je temperatura vode na ulazu u izmjenjivač.

Potrebno je proračunati porast temperature zraka tijekom 24 sata nakon LOCA akcidenta ako se ulazna temperatura vode konstantna i iznosi 32.2°C a temperatura vode u cijevima ima slijedeću vremensku ovisnost. 0 s, 40°C, 10 s, 105°C, 100 s, 93.3°C, 1000 s, 105°C, 10000 s, 70°C, 100000 s, 50°C, 1e6 s, 50°C.

Za proračun koristiti računarski program Gothic.

Prilagoditi frekvencije plot i print ispisa te vremenske regije vremenu proračuna

Projektni je uvjet da trajna temperatura zraka u prostoriji ne smije preći 50°C.

Podaci o materijalima:

Beton: 2275 kg/m³, 1.384 W/m-K, 0.837 kJ/kg-k

čelik: 7879 kg/m³, 44.98 W/m-K, 0.46 kJ/kg-k

Izolacija: 32 kg/m³, 0.048 W/m-K, 0.835 kJ/kg-k

Modeliranje CS sobe

U zadatku nam je zadana CS soba. Dimenzije prostorije su $L=3.66$ m, $H=5.94$ m, $W=13.1$ m. Volumen kojega promatramo u toj prostoriji je sam volumen zraka u prostoriji. Dobivamo ga ako oduzmemo volumen opreme od ukupnog volumena prostorije.

$$V = 0.9 \cdot V_{\text{prostorije}} = 256.3193 \text{ m}^3$$

Hidrodinamički diametar te prostorije tada iznosi

$$D = \frac{4 \cdot \text{Površina}}{\text{Oplošje}} = 5.72148 \text{ m}$$

Početni uvjeti u prostoriji su:

$$p = 101\,325 \text{ kPa},$$

početna temperatura u sobi je 40°C ,

početna relativna vlažnost je 60%.

Modeliranje toplinskih struktura

U zadatku razlikujemo tri tipa toplinskih struktura:

- Pod,
- Plafon,
- Zidovi.

Sve zidove smo definirali kao jednu toplinsku strukturu ukupne površine 199.109m^2 . Napravljeni su od istog materijala, betona i prema zadanim podacima smo modelirali iste.

Kod definiranja bilo je potrebno obratiti pažnju na način prijelaza topline kroz toplinske strukture te orijentaciju same strukture. U Gothic-u to se definira u HTC (Heat Transfer Coefficient) za unutrašnju stranu kao tip Direct (HTC type 1), samo sa prirodnom konvekcijom, a kako je zadano da su vanjske strane zidova i plafona izolirane, to definiramo kao Specific Heat Flux iznosa 0 s vanjske strane (HTC type 2). Vanjska strana poda je

definirana kao specifična temperatura iznosa 26.67°C kako je zadano u zadatku (HTC type 5). Također što se tiče orijentacije, zidovi su vertikalne strukture, plafon je definiran kao "face down" (HTC type 3), a pod kao "face up" struktura (HTC type 4). Samu raspodjelu granica odradio je Gothic automatski, opcija Auto divide.

Slijedeća toplinska struktura kojom smo se pozabavili jest cjevovod. S obzirom na njegovu orijentaciju podijelili smo ga na dva dijela. Vertikalni i horizontalni. Definirali smo ih kao cilindar (tube) sa različitim površinama prijelaza topline kako je zadano u zadatku, karakterističnih dužina: za horizontalni dio dužina sobe (13.1m), a za vertikalni visina sobe (5.94m). Kako je unutar cjevovoda voda čija nam je promjena temperature zadana u ovisnosti o vremenu, stvorili smo funkciju (forcing function) koja odgovara zadanim podacima (FF1), te definirali to kao HTC type koji se nalazi unutar cjevovoda kao specificiranu temperaturu koja ovisi o FF1 (HTC type 6). A sa vanjske strane smo definirali kao direktni prijelaz sa horizontalnog cilindra na zrak (horizontalni dio cjevovoda) (HTC type 7) i kao direktni prijelaz sa vertikalne površine na zrak (vertikalni dio) (HTC type 8).

Toplinski izvori

Kod definiranja toplinskih izvora smo sumirali čiste toplinske gubitke i to modelirali kao jedan toplinski izvor. Gubici koji su se mogli uočiti su:

$$\text{Gubici električnog motora: } P_1 = (1 - \eta) \cdot P = 10.9135 \text{ kW},$$

$$\text{Motor za pogon ventilatora u punom iznosu: } P_2 = 2.24 \text{ kW},$$

$$\text{Utjecaj rasvjete u punom iznosu: } P_3 = 0.305 \text{ kW}.$$

Ukupni gubici su:

$$\Sigma P = 13.4585 \text{ kW}.$$

U Gothic-u smo to zadali kao grijač sa Heat Rate-om u iznosu ukupnih gubitaka.

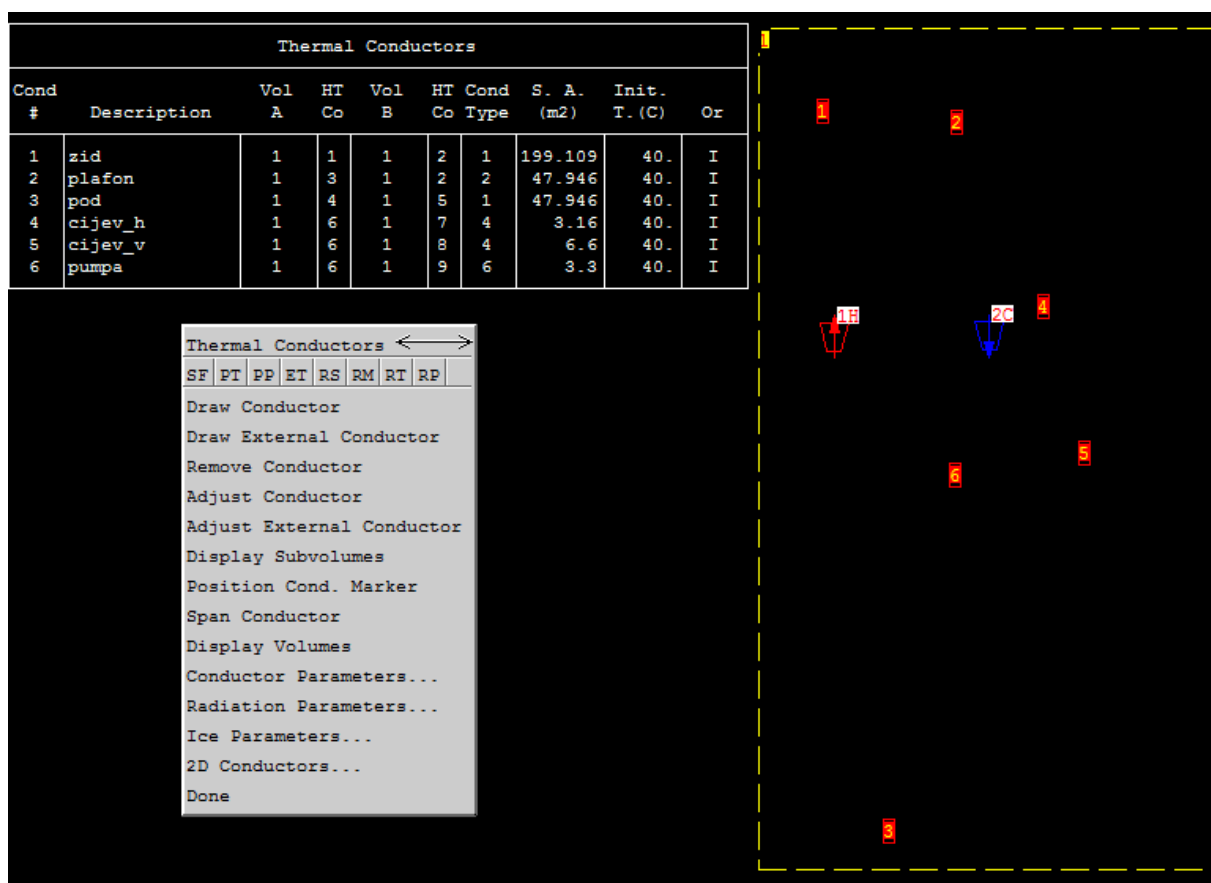
Od gubitaka su nam još ostali gubitci na pumpi, koje smo definirali kao thermal conductor, gdje je conductor type oblika uspravnog cilindra (rod), sa internalnim heat rate-om iznosa gubitaka na pumpi koji iznose $P_4 = 1.64 \text{ kW}$. Kod definiranja HTC-a sa unutrašnje strane

cilindra smo stavili da je prijenos topline sa vode na stjenku u ovisnosti o temperaturi vode (HTC type 6), a sa vanjske strane direktni prijenos na zrak (HTC type 9).

Hlađenje

HVAC uređaj smo definirali kao hladilo. No prije toga morali smo definirati novu funkciju (FF2) koja prikazuje odnos snage hlađenja u ovisnosti o temperaturi prostorije. Definirali smo da je heat rate $P_h = 25.32kW$ koliko iznosi rashladna moć HVAC-a pri 50°C u sobi i 32.2°C rashladne vode. Funkciju smo definirali tako da na 32.2°C iznosi 0, a pri 50°C iznosi 1. Te smo odredili da je phase option vapor-temperature.

Nakon postavljanja svih komponenata, naš sustav je izgledao kako je prikazano na slici 2.



Slika 2 - Izgled sustava

Proračun

Tipovi vodiča

Tip	Opis	Geometrija	Debljina (cm)	o.d. (cm)	Heat (kW)
1	Zidovi	Wall	30	0	0
2	Plafon	Wall	60	0	0
3	Pod	Wall	91	0	0
4	Horizontalna cijev	Tube	0.928	27.256	0
5	Vertikalna cijev	Tube	0.928	27.256	0
6	Pumpa	Rod	10	20	1.64

Tablica 1 – tipovi vodiča

HTC tipovi

HTC type	Vrsta	Objašnjenje
1	Direct	Konvekcija sa zidova
2	Specified Heat Flux	Izolirana okolina (vanjska strana zidova)
3	Direct	Konvekcija sa stropa (face down)
4	Direct	Konvekcija sa poda (face up)
5	Specified temperature	Temperatura tla (ispod poda)
6	Specified temperature (FF1)	FF1 ovisnost temp. vode u vremenu unutar cijevi
7	Direct	Konvekcija sa horizontalnog cjevovoda
8	Direct	Konvekcija sa vertikalnog cjevovoda
9	Direct	Konvekcija sa pumpe

Tablica 2 - HTC tipovi korišteni u proračunu

Toplinske strukture

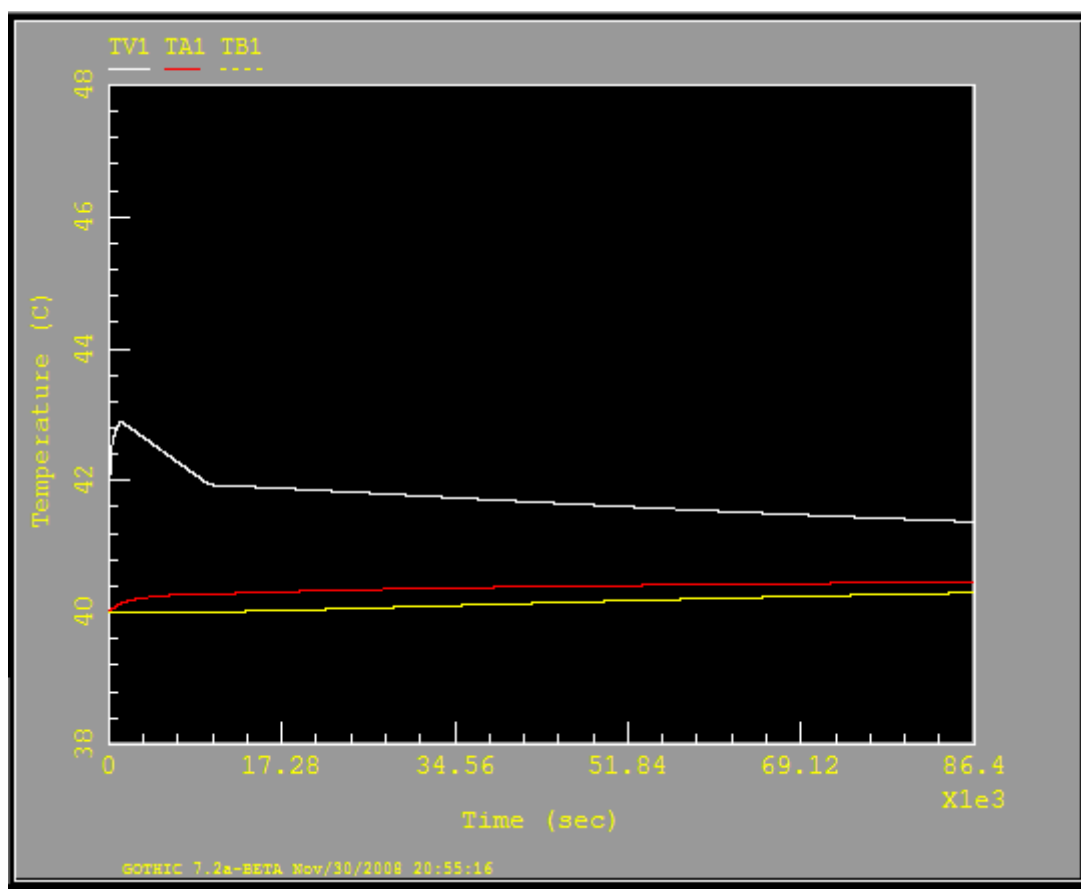
Struktura	Opis	HTC tip	HTC tip	Tip vodiča	Površina (m ²)
		A strana	B strana		
1	Zidovi	1	2	1	199.109
2	Plafon	3	2	2	47.946
3	Pod	4	5	3	47.946
4	Cijev_H	6	7	4	3.16
5	Cijev_V	6	8	4	6.6
6	Pumpa	6	9	6	3.3

Tablica 3 - popis toplinskih struktura

Zadatkom je zahtjevan proračun temperature u prostoriji 24 sata nakon LOCA akcidenta. Projektni je uvjet da trajna temperatura zraka u prostoriji ne smije preći 50°C.

Proračun smo obavili tako da smo u run controls definirali da je vrijeme obavljanja proračuna 24 sata (86400 sekundi), te smo definirali frekvencije plot (100 s) i print ispisa (10 s).

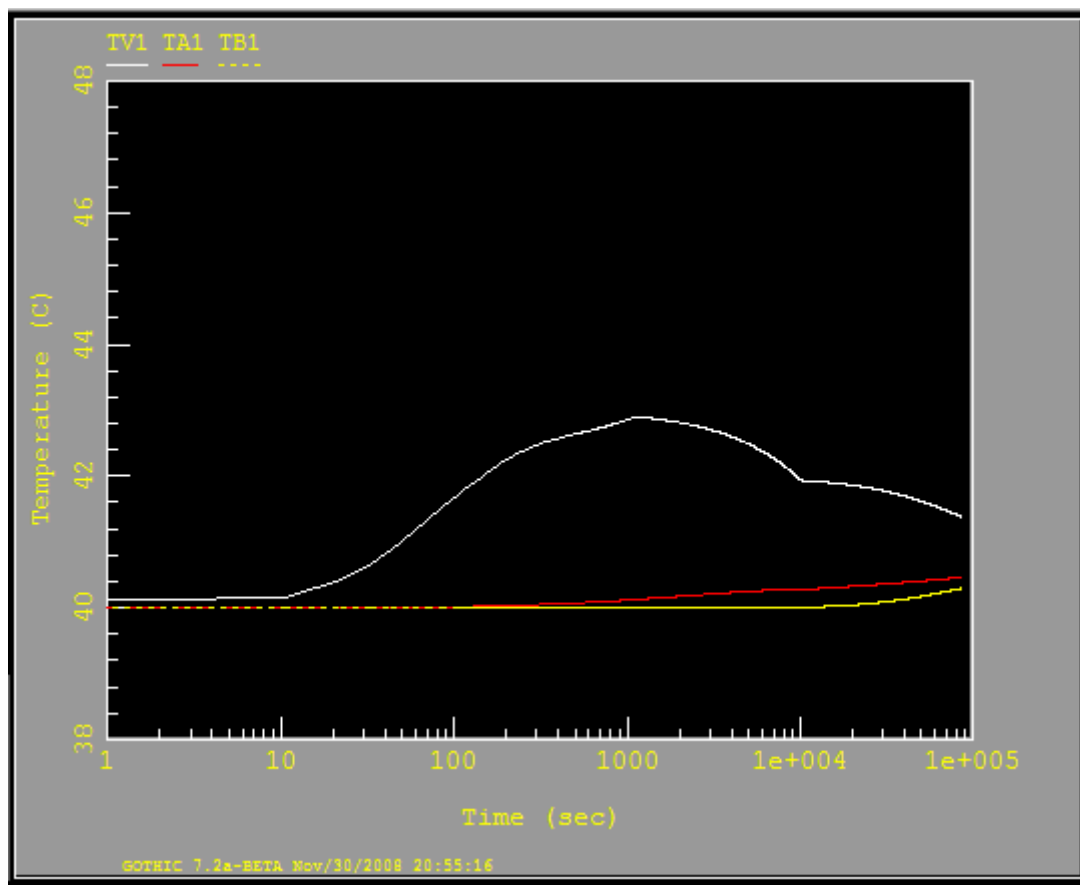
Slika 3 prikazuje ponašanje temperature sobe (bijela linija), temperature zidova sa A (crvena) i B (žuta) strane, unutar 24 sata.



Slika 3 - Temperatura u sobi u toku 24h, linearna skala

Na slici se lijepo vidi da nakon početnog naglog porasta temperature se radom HVAC-a ta temperatura ustali te lagano opada sa vremenom, dok temperatura zidova polagano raste s obzirom na veću temperaturu zraka u prostoriji. Pri ovom mjerilu teško je utvrditi točno što se događa na početku incidenta, no daje nam lijepu sliku kako temperatura ne prelazi 44°C.

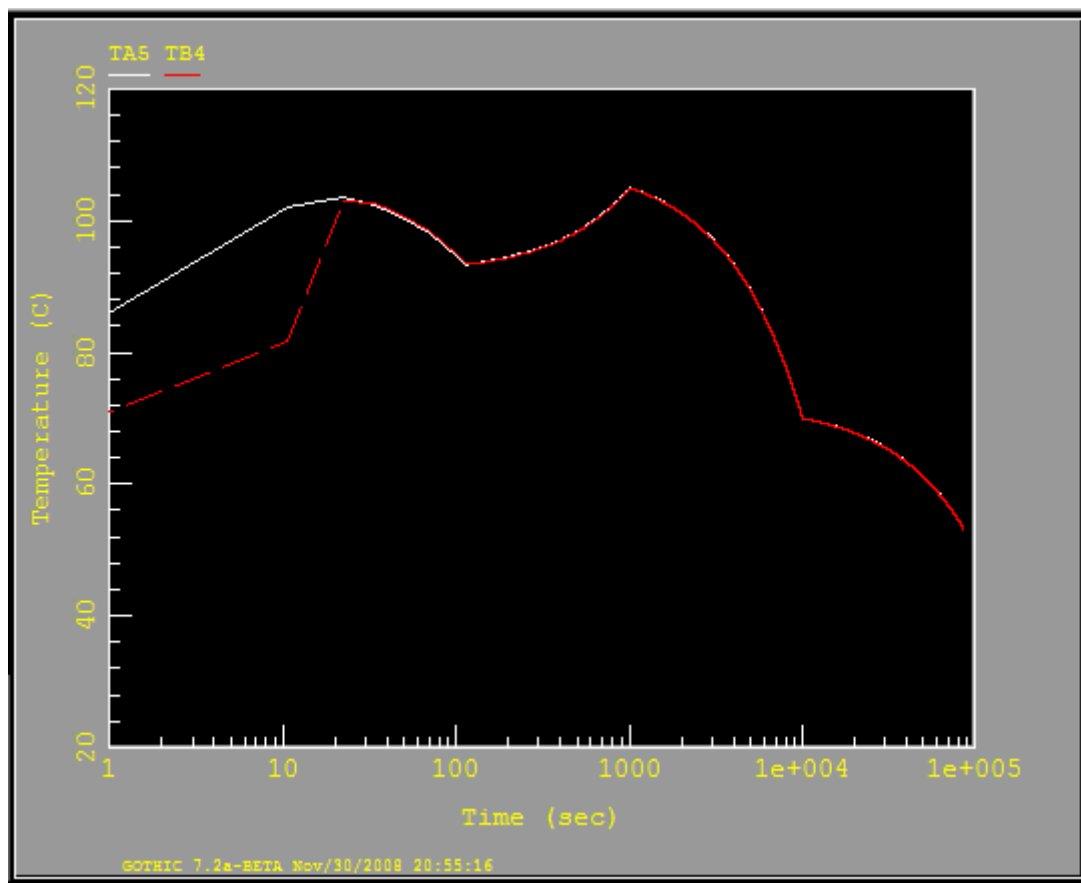
Slika 4 prikazuje istu situaciju, ali ovaj puta u logaritamskom mjerilu kako bi se bolje vidjele promjene na početku incidenta.



Slika 4 - Temperatura u sobi u toku 24h, logaritamska skala

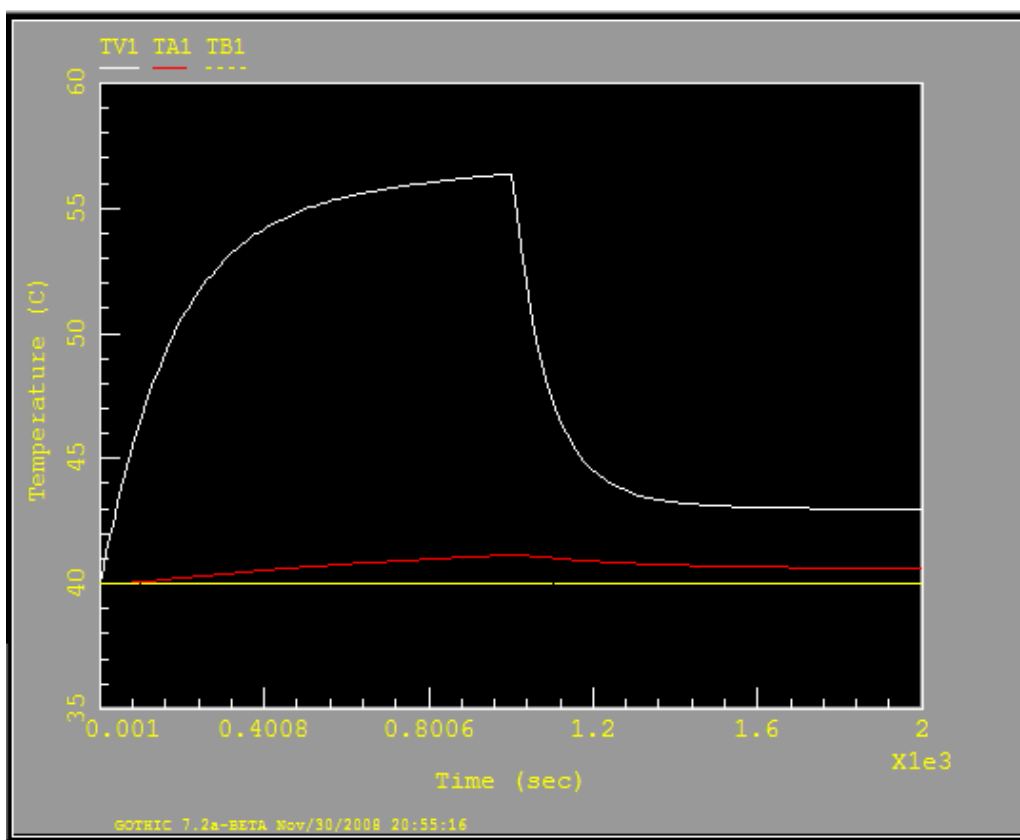
Kao što možemo primijetiti temperatura sobe je dosta ispod zadane tolerancije tako da nema nikakvih problema što se tiče zadanih uvjeta. Ovdje malo bolje vidimo kako se odvija početna promjena, naime u prvih 10s se temperatura ne mijenja previše, što je u korelaciji sa temperaturom vode u cijevima koja raste prvih 10 sekundi, nakon čega dostigne temperaturu od 105°C, čime se i naša prostorija lagano počinje grijati.

S obzirom na tip incidenta, zanima nas kakvo je zapravo ponašanje temperature cjevovoda, pošto je to jedina komponenta kojoj se mijenja vrijednost tokom ovoga incidenta. Slika 5 prikazuje ovisnost temperature cjevovoda. Bijela linija označava temperaturu na unutrašnjoj stjenci cjevovoda, dok crvena označava temperaturu na vanjskoj stjenci. U prvih 10 sekundi postoji značajnija razlika u temperaturi, dok se ne zagrije metalna stjenka, nakon toga toplinski koeficijent stjenke ne utječe toliko te se temperature mijenjaju skoro pa ujednačeno. Ovo objašnjava i zašto je zagrijavanje prostorije u prvih 10 sekundi minimalno.



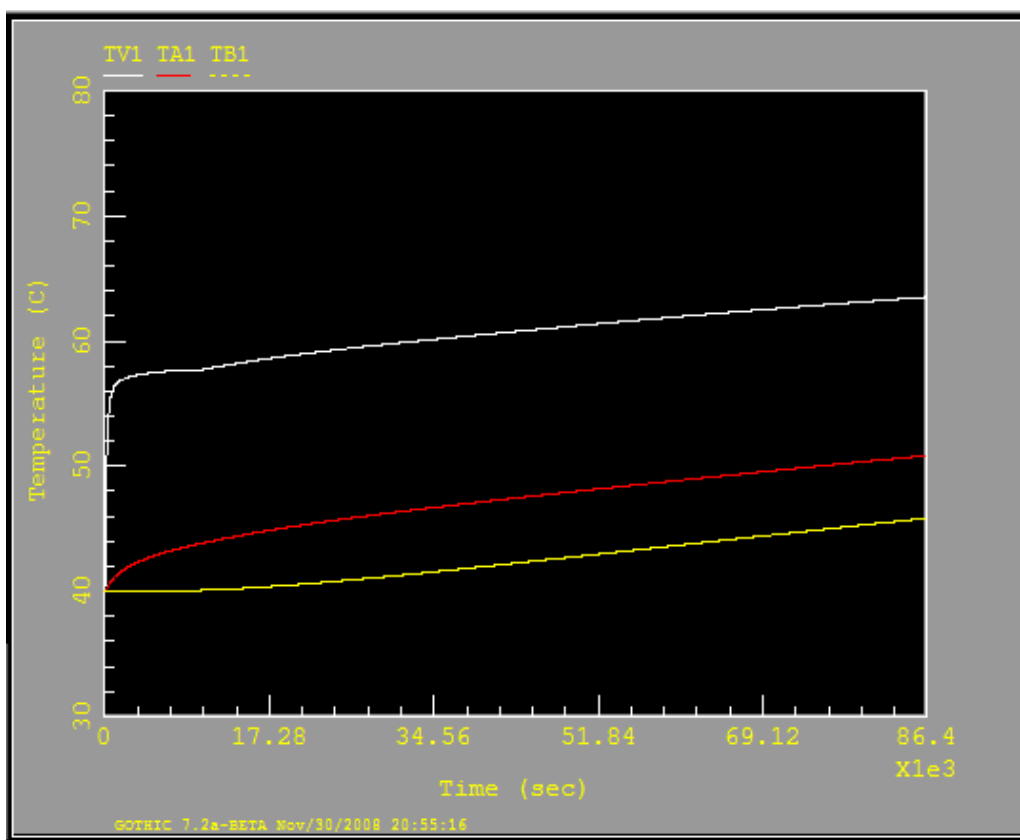
Slika 5 - Temperatura cjevovoda u ovisnosti o vremenu u logaritamskom mjerilu

Slijedeću stvar koju smo testirali jest utjecaj HVAC-a na cijelu situaciju temperature u sobi. Stavili smo trip na uključenje HVAC-a tako da HVAC krene sa radom tek nakon 1000 sekundi od početka simulacije. Kako možemo vidjeti na slici 6, temperatura sobe raste veoma brzo ukoliko nema hlađenja te već nakon 200 sekundi pređe zahtijevanih 50°C. Nakon uključanja HVAC-a temperatura rapidno opada, razlog tome je što u tom trenutku HVAC radi sa otprilike 130% snage (zbog veće razlike temperature sobe i temperature hladne vode u njemu), dakle otprilike 32kW što je više nego dvostruko više od svih toplinskih izvora u prostoriji. Nakon izvjesnog vremena temperatura se opet ustali te lagano otpočne padati. Graf je napravljen za prvih 2000 sekundi događaja s obzirom da se nakon toga temperatura lagano smanjuje.

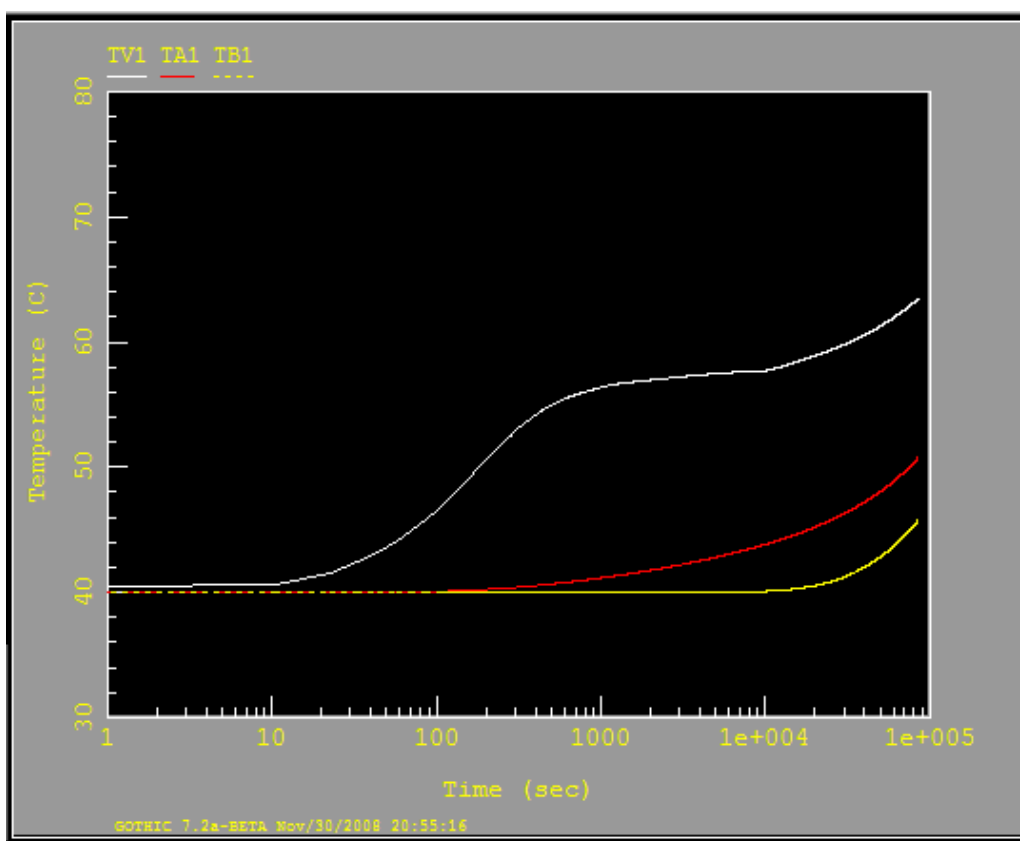


Slika 6 - Temperatura sobe sa kasnijim uključenjem HVAC-a

Daljnje pitanje se postavlja što bi bilo sa temperaturom sobe ukoliko HVAC uopće ne bi postojao. Isključenjem HVAC-a dobivamo rezultate kakvi su prikazani na slikama 7 i 8. Slika 7 je u linearnom mjerilu, a slika 8 u logaritamskom. U oba slučaja više je nego očito da temperatura sobe vrlo brzo pređe zadanih 50°C te nastavlja rasti do nekih 55°C kada dolazi do zasićenja, i nakon toga temperatura je u laganom porastu sve do kraja simulacije. Ukoliko bi simulaciju pustili preko zadanog intervala od jednog dana, došli bi do trenutka kada bi temperatura prostorije počela sporije rasti s obzirom da bi temperatura cjevovoda bila ispod temperature prostorije (nakon 1000000 sekundi temperatura vode u cjevovodu padne na 50°C) te bi djelovala kao rashladno sredstvo.



Slika 7 - Temperatura sobe bez HVAC-a, linearno mjerilo



Slika 8 - Temperatura sobe bez HVAC-a, logaritamsko mjerilo

Zaključak

Simulirali smo CS sobu i njene elemente s obzirom na događanja 24 sata nakon LOCA incidenta. Utvrdili smo da su dizajnirani parametri sobe i dizajnirano hlađenje HVAC uređajem dovoljni za održavanje zadane radne temperature sobe, koja mora biti ispod 50°C u svakome trenutku.

Popis slika i tablica

Slika 1 - Dimenzije prostorije.....	2
Slika 2 - Izgled sustava	6
Slika 3 - Temperatura u sobi u toku 24h, linearna skala	8
Slika 4 - Temperatura u sobi u toku 24h, logaritamska skala.....	9
Slika 5 - Temperatura cjevovoda u ovisnosti o vremenu u logaritamskom mjerilu	10
Slika 6 - Temperatura sobe sa kasnijim uključenjem HVAC-a	11
Slika 7 - Temperatura sobe bez HVAC-a, linearno mjerilo	12
Slika 8 - Temperatura sobe bez HVAC-a, logaritamsko mjerilo.....	12
Tablica 1 – tipovi vodiča	7
Tablica 2 - HTC tipovi korišteni u proračunu	7
Tablica 3 - popis toplinskih struktura	7