

Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za visoki napon i energetiku
Unska 3, 10000 Zagreb

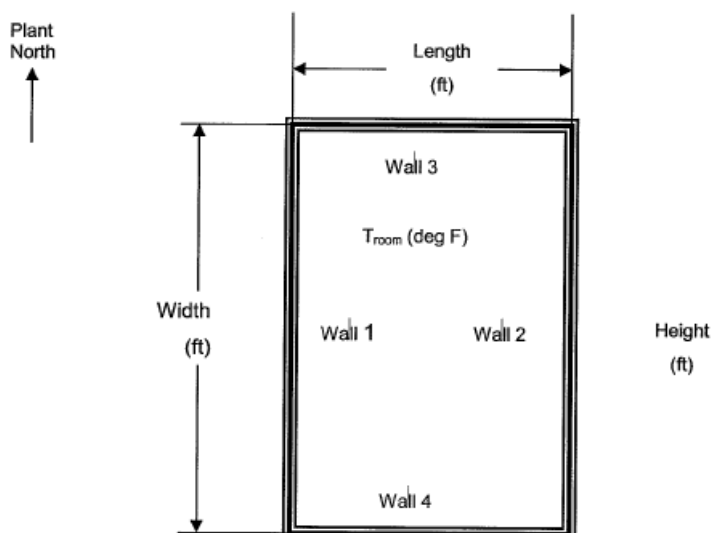
Laboratorij elektroenergetike 1

Mario Šincek, 0036431112

Karlo Jurec, 0036431640

Zadatak rhr_15 za predmet LabELE1
Studenti:

Potrebno je analizirati porast temperature zraka u prostorijama sa električnom opremom sigurnosne klase u NE. U RHR 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 inicijalno na temperaturi zraka. Početna relativna vlažnost zraka je 30%. U sobi vlada atmosferski tlak 101325 Pa. Poznate su osnovne dimenzije sobe prema priloženoj slici (L=3.66 m, W=9.75 m, H=5.94 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 26.7 °C (temperatura tla). Na unutrašnjoj strani zidova/poda/plafona toplina se izmjenjuje kondenzacijom i prirodnom cirkulacijom koja ovisi o orijentaciji plohe.



Toplinski izvori koje je potrebno modelirati u sobi su: toplinski gubici električnog motora u punom iznosu (poznata je snaga motora na osovini 179 kW i stupanj djelovanja 0.934), motora za pogon ventilatora u punom iznosu (2.24 kW), pola gubitaka nastalih u pumpi (projektni protok 8.517 m³/min, visina dizanja 96 m, stupanj djelovanja 0.77) (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 15.24 cm a debljina stijenke je 9.5 mm. Cijev je izvana obložena slojem toplinske izolacije debljine 7.6 cm. Cjevovod se sastoji od horizontalne sekcije vanjske površine prijelaza topline 13.8 m² i vertikalne sekcije vanjske površine prijelaza topline 14.4 m². Gubitke topline iz pumpe aproksimirati uspravnim cilindrom ukupne vanjske površine izmjene topline 6.5 m². Unutrašnja temperatura metalnih strukutra 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 23.89 kW, pri volumnom protoku zraka temperature 50 °C od 1.61 m³/s i pri volumnom protoku rashladne vode temperature 32.2 °C od 2.65 l/s. Izmjenjivač modelirati kao volumni hladnjak

s protokom jednakim nazivnom protoku. Rashladna moć neka ovisi linerano 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 720 sati nakon LOCA akcidenta ako je ulazna temperatura rashladne 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. Prikazati grafički temperaturu zraka, ponašanje površinske temperature toplinskih struktura (strana izložena zraku u sobi) i karakteristične snage

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

Bakar: 8960 kg/m³, 392 W/m-K, 0.385 kJ/kg-K

U nastavku uključiti model realnog HVAC uređaja, podesiti parametre da se postigne zadana rashladna moć u radnoj točki, ponoviti proračun prema prije navedenim uvjetima i usporediti rezultate.

Ventilator je smješten nizvodno od rashladnog svitka i osigurava protok od 5794 m³/h. Volumen kompartmenta u kojem je smješten je 122x178x91 cm. Projektna rashladna moć izmjenjivača topline je 23.89 kW, za temperaturu zraka u sobi od 50 °C i temperaturu rashladne vode na ulazu od 32.2 °C. Protok rashladne vode je 9.54 m³/h. Vanjski promjer rashladnih cijevi je 15.875 mm a debljina stijenke je 1.2446 mm. Debljina rashladnog rebra je 0.2032 mm. Broj rashladnih rebara duž cijevi odrediti iz podatka da se na dužini od 1 cm nalazi 4.92 rebara. Materijal rashladnih rebara je bakar. Površina rashladnog svitka na koju dolazi struja zraka brzinom od 2.31 m/s je 0.6967 m² (H 30 in x W 36 in). Rashladne cijevi su raspoređene u 4 reda. Razmak redova procijenjen je na 9.8 cm.

1 Vježba 1 : Modeliranje RHR prostorije

Prostorija je opremljena HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning) sustavom za hlađenje koji je odgovoran za održavanje temperature ispod zadanih 50°C. Na početku je bitno u Gothicu definirati početne uvjete koji vladaju u prostoriji:

- početna temperatura zraka: 40°C
- početna relativna vlažnost zraka: 30%
- atmosferski tlak: 101 325 Pa

Ovi početni uvjeti unose se u tablicu Initial Conditions do koje dolazimo pomoću izbornika Build. Dalje definiramo kontrolni volumen (Build → Control Volumes) prostoriju čije su dimenzije: L=3.66 m, W=9.75 m, H=5.94 m. S obzirom da oprema u prostoriji zauzima 10% volumena, stvarni volumen zraka u prostoriji je: $V_s = V_u \cdot 0.9 = 190.772 \text{ m}^3$

Hidraulički dijametar prostorije računamo prema formuli: $D_h = \frac{4 \cdot P}{O}$ i za našu prostoriju iznosi 5.3221 m.

1.1 Modeliranje toplinskih struktura

Toplinske strukture koje smo morali modelirati su:
pod, zidovi, plafon, horizontalne i vertikalne cijevi u prostoriji te pumpa.

Materijali korišteni za modeliranje navedenih toplinskih struktura u ovom zadatku su (zadani su nam gustoća, toplinska vodljivost i specifični toplinski kapacitet):

- beton: 2275 kg/m³, 1.384 W/mK, 0.837 kJ/kgK
- čelik: 7879 kg/m³, 44.98 W/mK, 0.46 kJ/kgK
- izolacija: 32 kg/m³, 0.048 W/mK, 0.835 kJ/kgK
- bakar: 8960 kg/m³, 392 W/mK, 0.385 kJ/kgK

Prije definiranja toplinskih struktura potrebno je u program unijeti materijale od kojih su strukture načinjene. Materijale definiramo putem izbornika Resources → Materials i nakon što ih se definira, mogu se dodijeliti određenoj toplinskoj strukturi.

Toplinske strukture definiramo pomoću slijedećih parametara (Slika 1): površina izmjene topline, početna temperatura te način prijelaza topline s A i B strane.

Thermal Conductors									
Cond #	Description	Vol A	HT Co	Vol B	HT Co	Cond Type	S. A. (m2)	Init. T. (C)	Or
1	zid	1	1	1	5	1	159.311	40.	I
2	pod	1	2	1	3	3	35.685	40.	I
3	plafon	1	4	1	5	2	35.685	40.	I
4	cijev_v	1	6	1	1	5	14.4	40.	I
5	cijev_h	1	6	1	7	6	13.8	40.	I
6	pumpa	1	6	1	7	4	6.5	40.	I

Ukupno smo definirali 7 načina prijelaza topline:

- 1) Direktan, vertikalna površina
- 2) Direktan, face up (koristi se kod poda)
- 3) Specified Temperature, 26.7°C
- 4) Direktan, face down (strop)
- 5) Specified Heat Flux, 0 (zidovi i plafon su izolirani, koristi se za B, tj. vanjsku stranu)
- 6) Specified Temperature, FF 2T (FF 2T je funkcija koja određuje kretanje temperature vode u cijevima nakon LOCA akcidenta)
- 7) Direktan, uspravan cilindar (pumpu modeliramo na taj način)

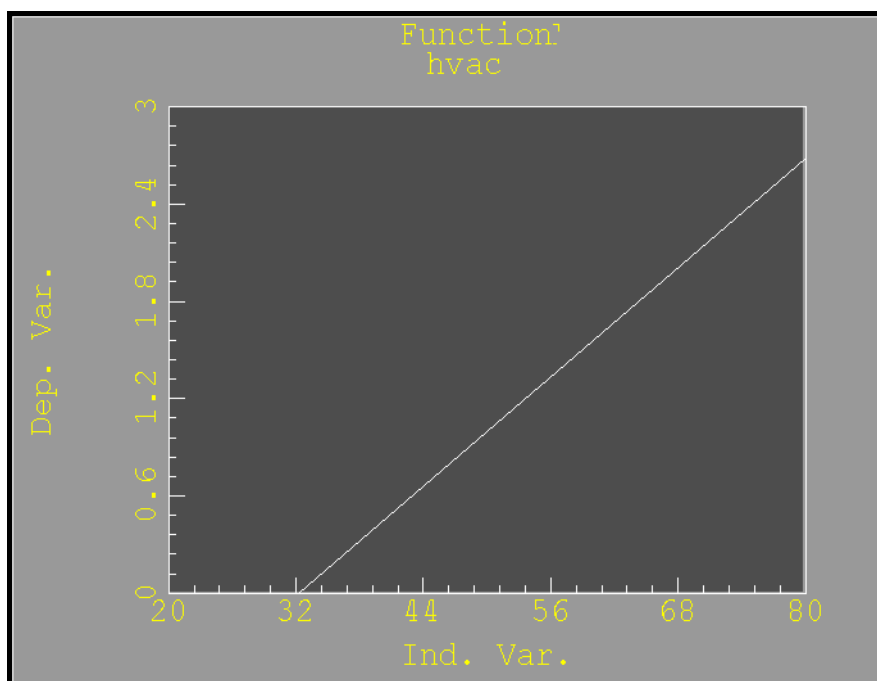
Heat Transfer Coefficient Types - Table 1									
Type #	Heat Transfer Option	Nominal Value	FF	Cnd/Cnv Opt	Cnd Opt	Sp Cnv HTC	Nat Cnv Opt	For Cnv Opt	Rad Opt
1	Direct	26.7		ADD	UCHIDA		VERT SURE	OFF	OFF
2	Direct			ADD	UCHIDA		FACE UP	OFF	OFF
3	Sp Temp								
4	Direct			ADD	UCHIDA		FACE DOWN	OFF	OFF
5	Sp Heat	1.	2T						
6	Sp Temp								
7	Direct			ADD	UCHIDA		HORZ CYL	OFF	OFF

1.2 Modeliranje toplinskih izvora

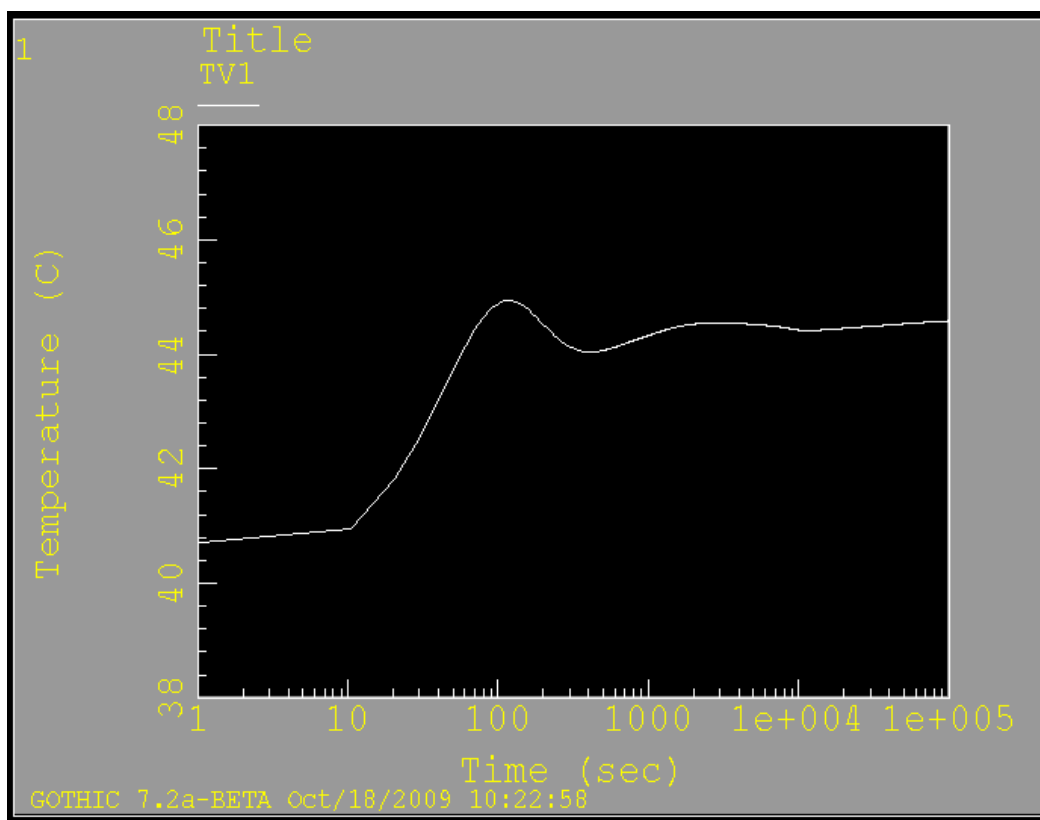
Gubitke električnog motora za pogon pumpe, motora za pogon ventilatora, pumpe te gubitke rasvjete modeliramo zajedno kao jedan izvor topline, odnosno grijač (Heater). Gubici izračunati na taj način iznose $P_g = 16.205 \text{ kW}$.

Cooler/Heater										
Heater Cooler #	Description	Vol. #	On Trip #	Off Trip #	Flow Rate (m3/s)	Flow Rate FF	Heat Rate (kJ/s)	Heat Rate FF	Phs Opt	Ctrlr Loc
1H	grijac	1					16.2046		VTI	1
2C	hladnjak	1			1.61		21.5	1T	VTE	1

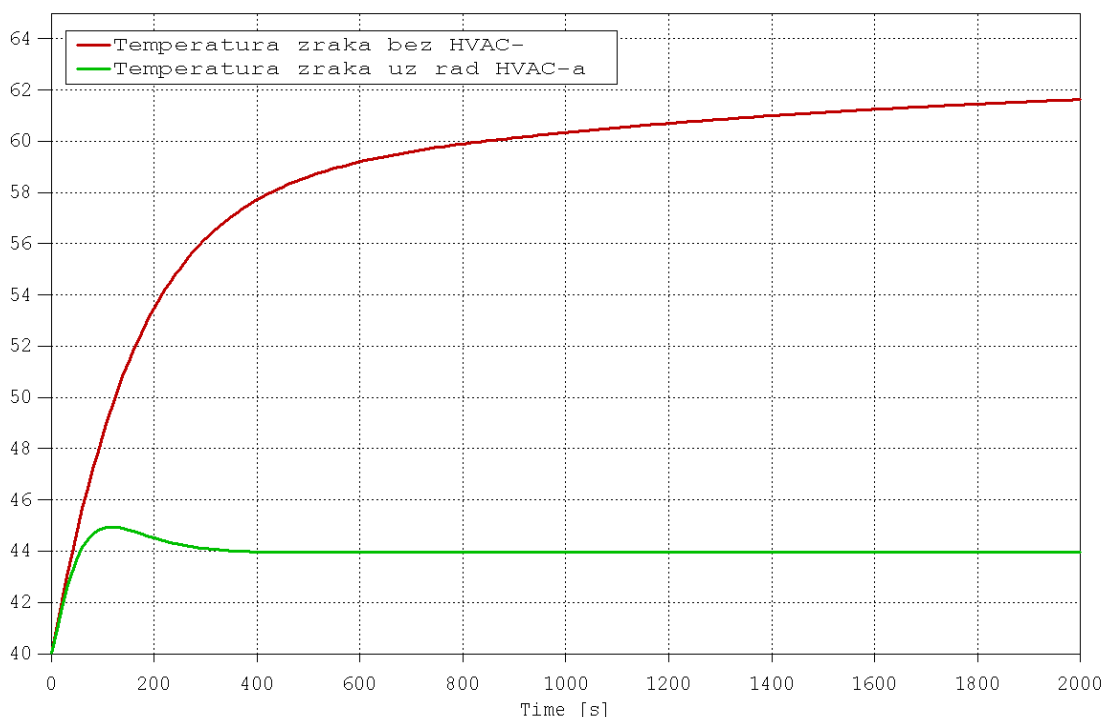
Osim grijača tu je i hladnjak (HVAC) čija se prenesena toplinska snaga mijenja u ovisnosti o temperaturi zraka u prostoriji i to tako da iznosi 0 kW kad je temperatura zraka jednaka ulaznoj temperaturi vode (32.2°C), odnosno 21.5 kW kad je temperatura 50°C. Rad hladnjaka definiramo pomoću funkcije FF 1T (Slika 3). Za hladnjak još definiramo i protok rashladnog sredstva.



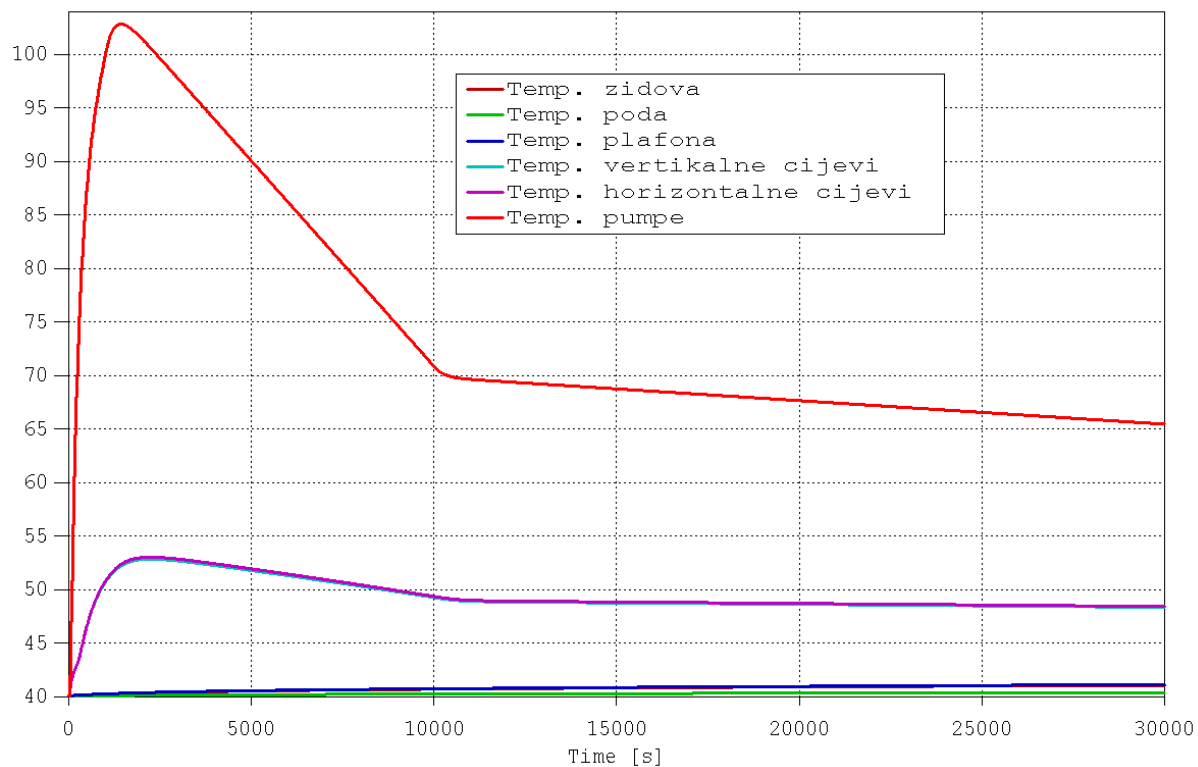
Nakon što smo završili s modeliranjem prostorije, toplinskih struktura te izvora topline i rashladnog uređaja, u izborniku File pokrećemo naredbu Run nakon čega Gothic vrši proračun za naš model. Na početku nas zanima kretanje temperature u sobi nakon LOCA akcidenta koji je definiran povećanjem temperature rashladnog sredstva. U logaritamskom mjerilu lijepo se može vidjeti nagli porast temperature u trenutku nakon 10 s kad zbog LOCA akcidenta dolazi do promjene brzine porasta temperature. Usprkos LOCA akcidentu rashladni uređaj uspijeva zadržati temperaturu ispod zadanih 50°C.



Na sljedećem grafu može se vidjeti usporedba porasta temperature sa i bez uređaja za hlađenje, vidimo da u slučaju kad isključimo HVAC iz modela temperatura zraka u prostoriji naraste dosta preko projektnih 50°C.

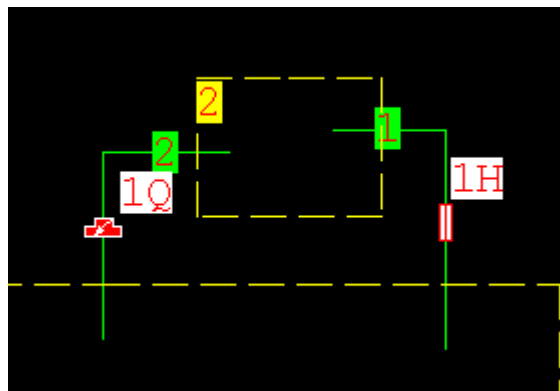


Jedna od zadaća bila nam je i prikazati promjenu temperature svih površina u prostoriji (zidova, poda, plafona te cijevi i pumpe). Temperatura zidova i plafona poraste vrlo malo zbog velikog toplinskog kapaciteta betona, pa oni mogu primiti puno topline bez da im temperatura značajnije poraste. Temperatura poda poraste još i manje zbog toga što nije izoliran s vanjske strane. Vidimo da temperatura vanjske površine pumpe dosegne temperaturu od preko 100°C (što je blizu maksimalne temp. vode u cijevima), međutim isto ne vrijedi za vertikalne i horizontalne cijevi zbog toga što su one s vanjske strane izolirane, pa im temperatura s vanjske strane ne naraste više od 54°C.



2 Vježba 2 : Modeliranje realnog hladnjaka

Drugi dio laboratorijskih vježbi odnosio se na modeliranje realnog HVAC hladnjaka prema uputama, odnosno dodan je kontrolni volumen kroz koji struji zrak i koji je sa našom prostorijom povezan ulaznom i izlaznom strujnicom. Na ulaznu strujnicu prostorije postavljamo ventilator (Volumetric Fan), a na izlaznu strujnicu izmjenjivač topline (Heat Exchanger) – model Fan Downstream of Coils.



Cijevi i rebra izmjenjivača topline izrađeni su od bakra te je potrebno u prije definirane materijale dodati i bakar. Za izmjenjivač topline definiramo protok i temperaturu vode na sekundarnoj strani. Definiramo 4 zone izmjenjivača topline zbog 4 reda cijevi te debljinu cijevi i unutrašnje oplošje.

Heat Exchanger Types - Table 2									
HX Type #	Side	Fin Type	Flow Area (m2)	Hyd. Diam. (cm)	Tot. S. Area (m2)	H.T. Coef Curv	H.T. Coef Type	Fouling Resistance (s-m2-C/J)	Film Thick. Mult.
1	prim	SHEE	0.66336	1.5875	270.		BUIL	0.	1.
	SECO	NONE	8e-004	1.5875	1.0767		BUIL	0.	1.

Za primarnu stranu definiramo još i parametre rashladnih rebara (koja ne postoje na sekundarnoj strani).

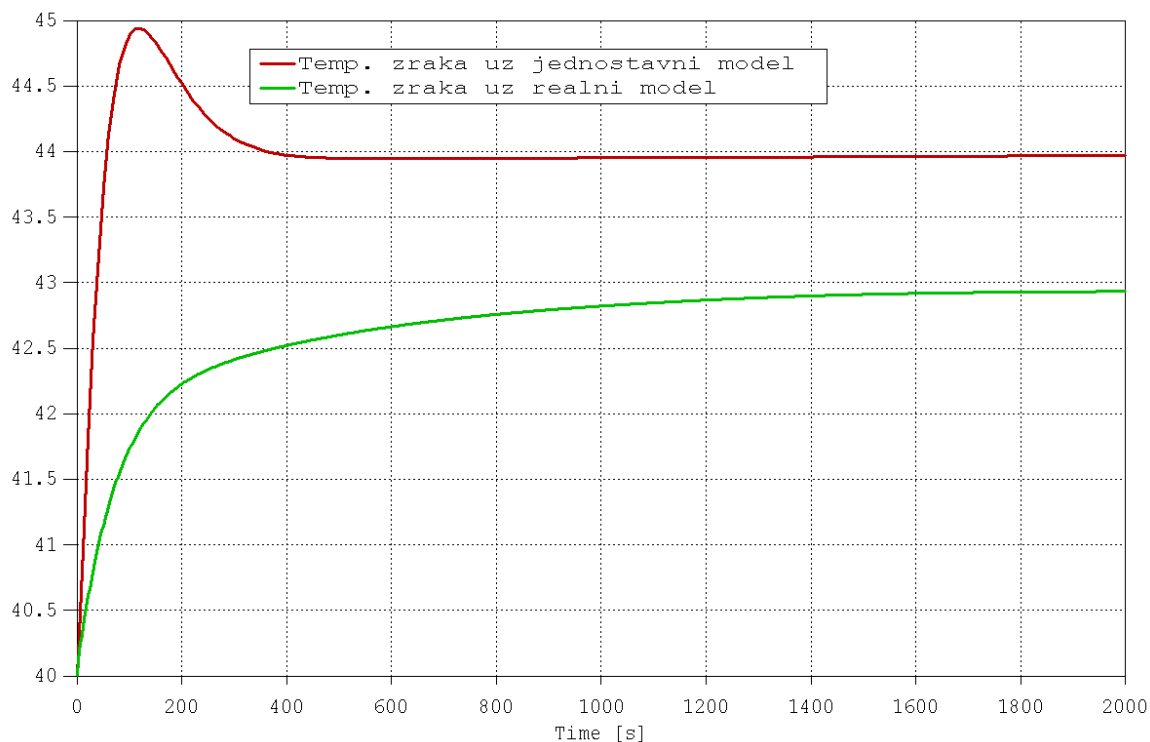
Heat Exchanger Types - Table 3 Fin Parameters						
HX Type #	Side	Fin Mat. Type #	Pin Diam. (cm)	Length (cm)	Thick-ness (cm)	Surf. Area (m2)
1	prim	4	0.	4.10625	0.02032	270.
	SECO	0	0.	0.	0.	0.

Na taj način smo definirali eksplicitni izmjenjivač topline.

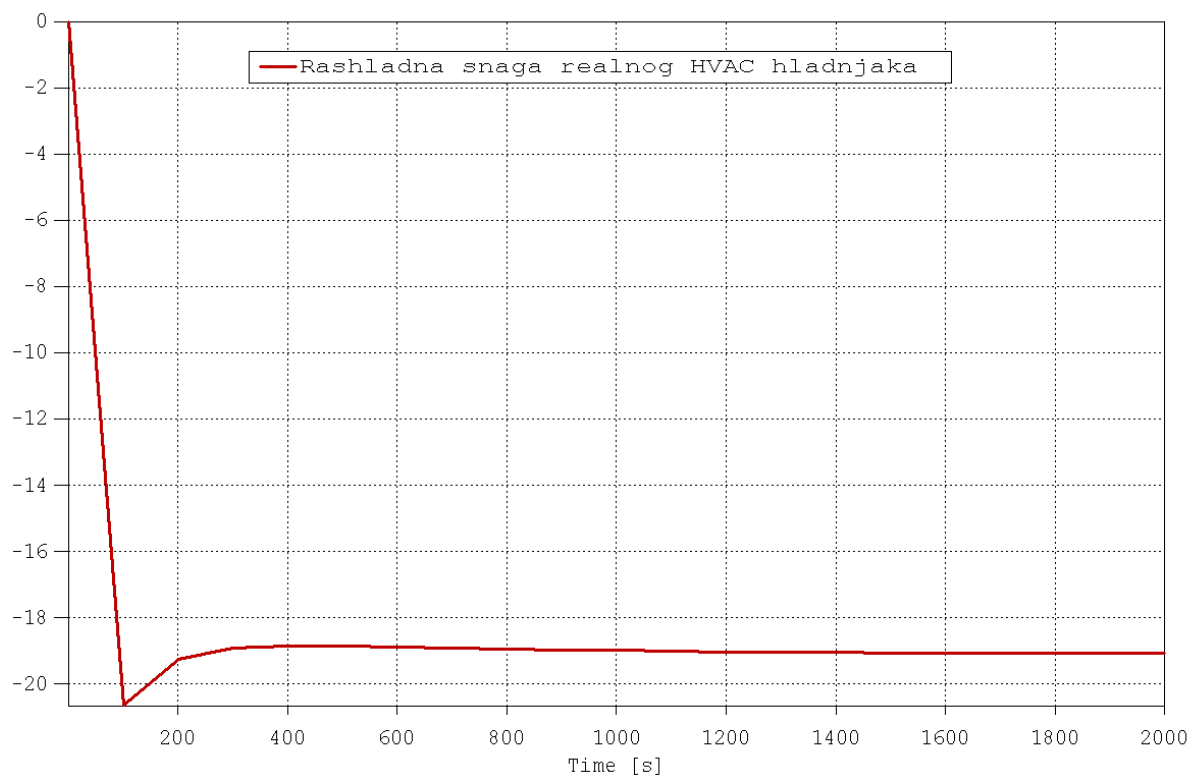
2.1 Rezultati

Rezultati bi trebali pokazati da realni model efikasnije hladi zrak u prostoriji što smo i provjerili simulacijom. Temperatura sobe prilikom korištenja realnog modela hladnjaka stabilizira se na otprilike 43°C za razliku od jednostavnog modela kod kojeg se temperatura stabilizira na 44°C. To

nam je jasan pokazatelj da je realni model efikasniji od jednostavnog. Budući da smo već jednostavnijim modelom zadovoljili granicu temperature projekta, to znači da je naš jednostavni model bio dovoljno dobar za brzu i grubu simulaciju jer znamo da ćemo realnim modelom još više biti na „sigurnijoj“ strani granice temperature.



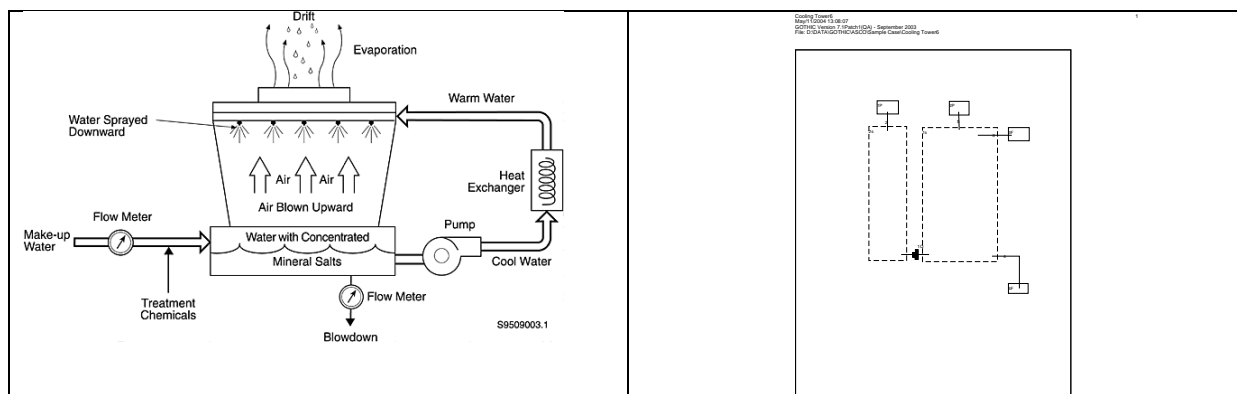
Sljedeće je trebalo postaviti temperature svih toplinskih struktura i početne uvjete u prostoriji tako da se postigne zadana rashladna moć, odnosno 21.5 kW. Da bi to postigli postavili smo početnu temperaturu zraka u prostoriji, zidova, poda, plafona te cijevi na 50°C. Maksimalna postignuta rashladna snaga uz relevantne temperature od 50°C iznosi 20.65 kW, što je jako blizu zadanoj vrijednosti od 21.5 kW.



Zadatak 3_g3_1 za predmet LabELE1

Modelirati vlažni rashladni toranj s prisilnom cirkulacijom ventilatorom volumnog protoka $4.72 \text{ m}^3/\text{s}$, koristeći program Gothic.

Ćelija rashladnog tornja visine je 10 m a volumen ćelije je 1000 m^3 . Koristiti podijeljeni volumen u z-smjeru s visinom podvolumena 1 m. Topla voda ulazi pri vrhu rashladnog tornja (predzadnja ćelija podijeljenog volumena) kroz sustav mlaznica prosječne veličine otvora 1 mm. Maseni protok i temperatura vode su konstantni (2.72 kg/s , 49°C , 300 kPa). Toranj raspolaže fill sustavom za povećanje dodirne površine vode i zraka s karakterističnom dimenzijom 3 cm. Donji dio tornja je rezerviran za bazen u kome se skuplja ohlađena voda. Voda se oduzima s konstantnim masenim protokom (isti kao protok tople vode) na temperaturi bazena. Početni nivo vode bazena je 0.8 m. Jednostavni sustav nadoknađuje isparenu vodu i to tako da je protok dodane vode 0 kg/s kad je nivo vode jednak ili veći od programiranog a jednak protoku cirkulacije kad nivo padne na 0.5 m. Voda se dodaje na temperaturi okoline. Oduzimanje vode za potrebe hlađenja kondenzatora kao i nadoknada izgubljene vode su u donji podvolumen rashladnog tornja. Okolni zrak je modeliran kao podijeljeni volumen visine i podjele jednake onoj rashladnog tornja i volumena $1\text{e}5 \text{ m}^3$. Toranj i okolina su povezani otvorima ukupne površine strujanja 10 m^2 između elevacija 1 i 2 m. Pretpostaviti da je rashladni toranj kvadratnog presjeka. Cijevi za cirkuliranje i dodavanje vode su površine presjeka 0.1 m^2 . Otvor na vrhu rashladnog tornja je površine presjeka 1 m^2 . Uvjeti okoline su 101.325 kPa , 22.8°C , RH 20%. Tlak u modelu je određen s dva rubna uvjeta spojena na vrhu volumena koji reprezentiraju rashladni toranj i okolinu. Svi su elementi modela inicijalno na parametrima okoline.



Proračun provesti tijekom 1000 s. Kao minimum grafički prikazati promjene temperature vode i zraka po visini tornja, te relativne vlažnosti i brzine isparavanja vode. Prikazati i ukupnu brzinu isparavanja vode (kg/s) i maseni protok dodane vode te vremensku ovisnost rashladne moći tornja (kW) i nivoa vode u bazenu (m).

Za rješavanje zadatka potrebno je, dodatno na dosad korištene elemente modela programa Gothic, proučiti:

- Rubne uvjete,
- Distribuirane 1D volumene,
- Sprej,
- Kontrolne varijable.

3 Vježba 3 : Modeliranje rashladnog tornja

Rashladni toranj kojeg je potrebno modelirati u ovom zadatku jest rashladni toranj s prisilnom cirkulacijom koja se postiže ubacivanjem okolnog zraka pomoću ventilatora na 2. razini (podvolumenu) tornja.

Rashladni toranj potrebno je modelirati kao 2 zasebna kontrolna volumena. Od toga jedan volumen predstavlja okolni zrak, a drugi jest sam toranj. Oni su spojeni jednom strujnicom na kojoj se nalazi ventilator (Volumetric fan) volumnog protoka zraka od $4.72 \text{ m}^3/\text{s}$. Jedan i drugi volumen podijeljeni su u vertikalnom smjeru, tj. po osi z u 10 podvolumena visine 1 m.

Hidrodinamički dijametar tornja uzima se onoliki kolika je dimenzija fill sustava tornja, odnosno sustava za povećanje dodirne površine između vode i zraka. U našem slučaju to je 0.03 m.

Hidrodinamički dijametar okolnog zraka jest sama visina kontrolnog volumena zraka, odnosno 10 m.

Početni uvjeti okoline, odnosno zraka su:

- temperatura zraka: 22.8°C
- početna relativna vlažnost zraka: 20%
- atmosferski tlak: 101 325 Pa

3.1 Definiranje rubnih uvjeta (Boundary Conditions)

U modelu je potrebno definirati 5 rubnih uvjeta pomoću kojih modeliramo parametre vode i zraka koji ulaze, odnosno izlaze iz tornja:

1. topla voda
2. hladna voda
3. topli zrak
4. hladni zrak
5. dodavanje vode

Fluid Boundary Conditions - Table 1											
BC#	Description	Press. (kPa)	FF	Temp. (C)	FF	Flow (kg/s)	S	J	ON	OFF	Elev. (m)
							FF	P	O	Trip	Trip
1F	topla voda	300.		49		2.72		N	N		8.5
2F	hladna voda	300.		49		-2.72		N	N		0.5
3P	topli zrak	101.325		22.8				N	N		9.5
4P	hladni zrak	101.325		22.8				N	N		9.5
5F	dodavanje vode	101.325		22.8		2.72	1T	N	N		0.1

Rubni uvjeti koji se koriste u ovom zadatku su flow (F) i pressure (P), što se može odabrati nakon što se nacrtaju rubni uvjeti. Topli zrak na izlazu iz tornja (3P), i hladni zrak koji ulazi u toranj, (4P), definirani su kao tlačni ponor, odnosno izvor zraka. Topla voda (1F), hladna voda (2F) i nadoknada vode (5F) definirani su pomoću protoka, s tim da se protok uzima pozitivnim kad fluid ulazi u volumen (1F i 5F), a negativan predznak protoka u rubnom uvjetu se stavlja kada fluid izlazi iz volumena (hladna voda iz spremnika 2F).

3.2 Definiranje strujnica (Flow Paths)

Nakon što smo definirali rubne uvjete, potrebno ih je povezati sa kontrolnim volumenima 1 i 2 pomoću strujnica. U zadatku smo koristili 6 strujnica za povezivanje s kontrolnim volumenima, stoga da se za strujnice pomoću opcije *Position Flow Conn.* mora točno definirati u kojem je podvolumenu(od njih 10) strujnica spojena na toranj.

Flow Paths - Table 1							
F.P. #	Description	Vol A	Elev (m)	Ht (m)	Vol B	Elev (m)	Ht (m)
1	usis zraka	1s2	1.2	0.1	2s2	1.2	0.1
2	izlaz toplog zr	2s10	9.5	0.1	3P	9.5	0.1
3	ulaz tople vode	2s9	8.5	0.1	1F	8.5	0.1
4	izlaz hladne vo	2s1	0.5	0.1	2F	0.5	0.1
5	zrak iz okoline	1s10	9.5	0.1	4P	9.5	0.1
6	dodatna voda	2s1	0.1	0.1	5F	0.1	0.1

Hidrodinamički dijametar strujnica računa se na sljedeći način: $D = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi}}$, gdje je P površina presjeka strujnice, odnosno Flow Area.

3.3 Modeliranje ventilatora

Ventilator koji se koristi za forsiranu cirkulaciju, odnosno ubacivanje zraka u toranj definira se pomoću volumnog protoka okolnog zraka kojeg ubacuje u toranj. U izborniku *Build->Components->Volumetric Fans* najprije se locira ventilator na strujnicu, a potom mu se definira *Flow Rate* od 4.72 m³/s.

3.4 Kontrolne varijable

Kontrolne varijable koriste se da bi se mogli odrediti:

1. nivo vode u spremniku na dnu tornja
2. ukupna brzina isparavanja vode iz tornja
3. razlika entalpija
4. snaga tornja

Control Variables								
CV #	Description	Func. Form	Initial Value	Coeff. G	Coeff. a0	Min	Max	Upd. Int. Mult.
1C	level	mult	0.8	1.	0.	-1e+03	1e+032	0.
2C	isparava	sum	0.	0.45359	0.	-1e+03	1e+032	0.
3C	razlika_ental	sum	0.	1.	0.	-1e+03	1e+032	0.
4C	snaga	mult	0.	1.055	0.	-1e+03	1e+032	0.

Kontrolna varijabla 1C definirana je kao multiplikacijska funkcija komponente Pooler koja mjeri visinu vode (u ft) u podvolumenu 1 tornja i koeficijenta 0.3048 koji služi tome da se ft pretvore u m.

Kontrolna varijabla 2C definirana je pomoću funkcije koja zbraja sve gubitke pare po svim podvolumenima tornja, dakle ima 10 komponenata.

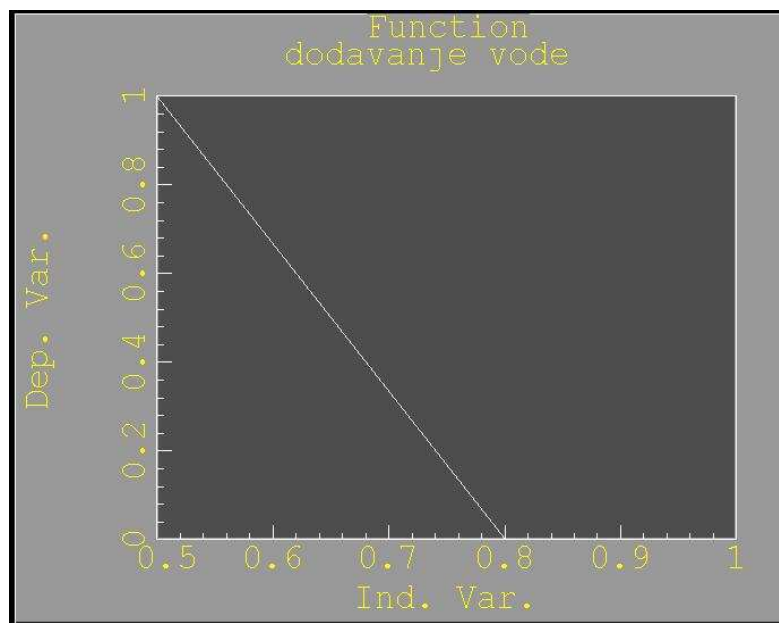
Kontrolna varijabla 3C definirana je pomoću funkcije koja oduzima entalpiju vode na vrhu tornja, odnosno u zadnjem podvolumenu i entalpiju vode u 2. podvolumenu tornja.

Komponente funkcije koje uzimaju entalpiju vode su odabrane iz klase volumnih varijabli i jedinica u kojima mjere entalpiju je Btu/lbm.

Snaga tornja dobiva se množenjem masenog protoka vode i razlike entalpija vode, pa se stoga kontrolna varijabla 4C sastoji od 2 komponente. Jedna je kontrolna varijabla 3C, a druga je komponenta odabrana iz klase *Flow Variable* i zove se Wljnc koja mjeri protok vode kroz sprej na vrhu tornja u lbm/s. Da snaga nebi bila izražena u Btu/s potreban je koeficijent $G=1.055$ kojim je potrebno pomnožiti snagu da se dobije jedinica kW.

3.5 Definiranje FF za dodavanje vode

Nakon definiranja kontrolnih varijabli, potrebno je definirati i FF koja se mora pridružiti rubnom uvjetu 5-dodavanje vode.

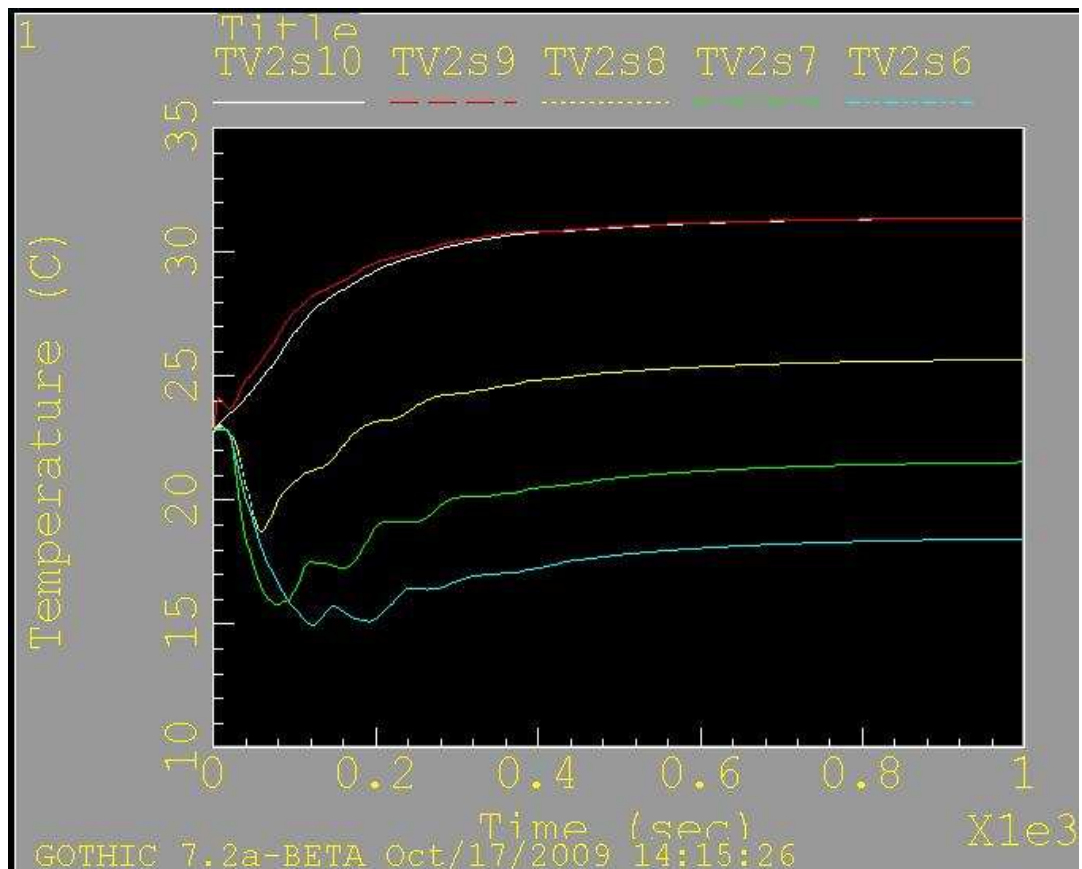


Ova funkcija koristi kontrolnu varijablu 1C (*level*) kao pomoćnu varijablu koja kazuje koliki je nivo vode u bazenu tornja. Sama funkcija definirana je tako da je protok iz rubnog uvjeta u toranj 0 kg/s kada je nivo vode u bazenu tornja veći ili jednak 0.8 m, a maksimalan (2.72 kg/s) kada razina vode u tornju padne na vrijednost 0.5 m.

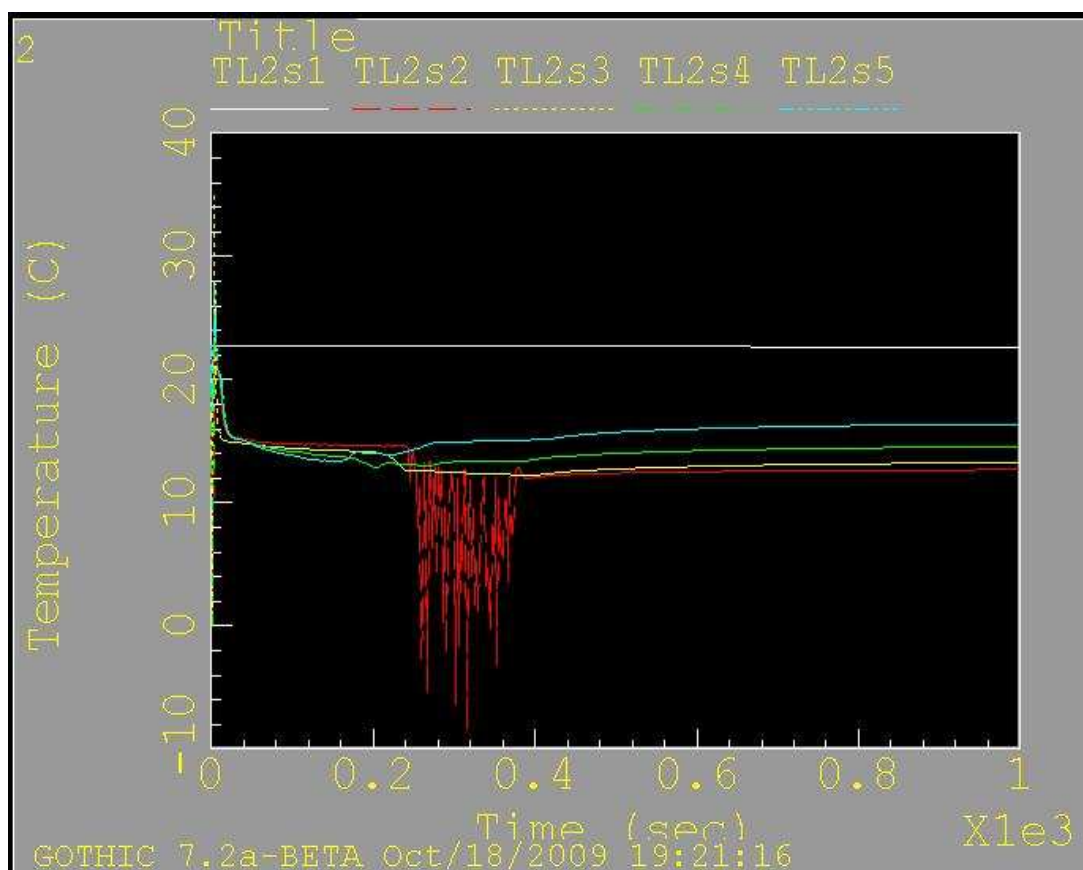
Konačno, model tornja spreman je za simulaciju koja se pokreće naredbom *Run* u izborniku *File*. Vrijeme simuliranja zadano je zadatkom i iznosi 1000 sekundi. Ovo vrijeme, pokazat će i rezultati, dovoljno je da sustav dođe u stacionarno stanje.

3.6 Rezultati

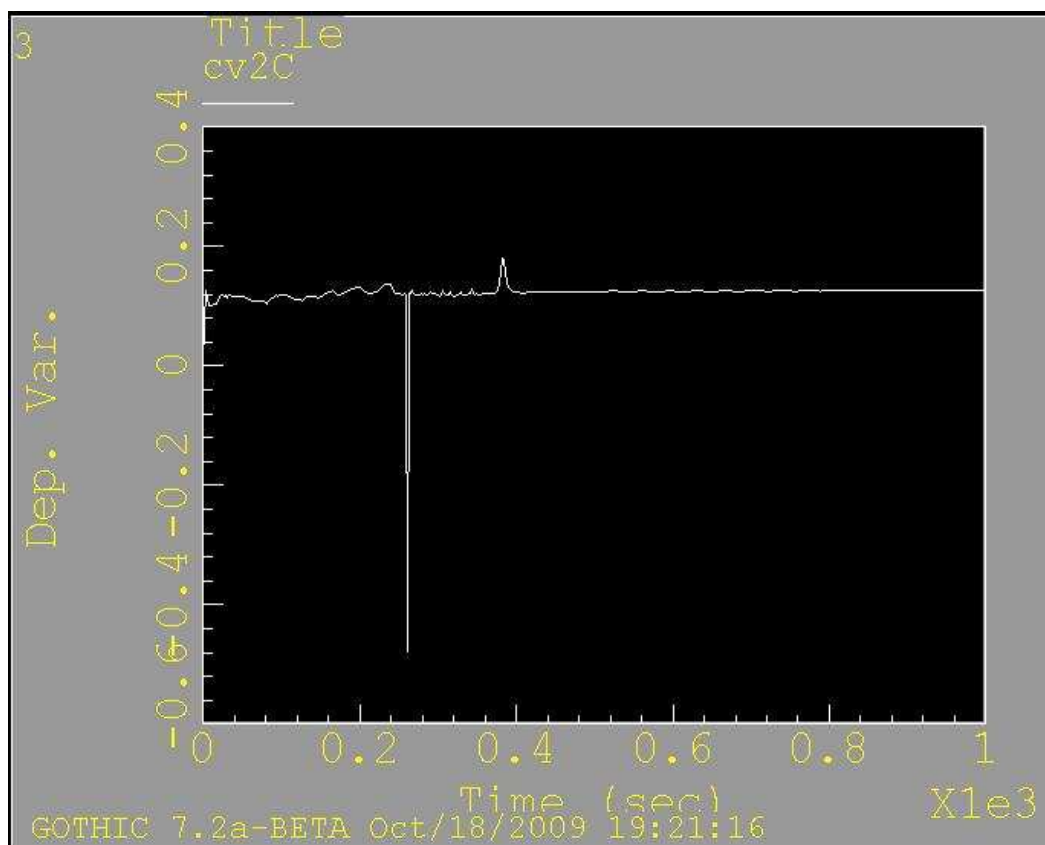
Temperatura zraka po razinama tornja prikazana je na sljedećem grafu. Iz grafa se može vidjeti da je temperatura zraka najveća na 9. razini tornja, odnosno tamo gdje je i ulaz tople vode u toranj koja onda predaje toplinu zraku. Približno istu temperaturu ima i najviša razina tornja (10 podvolumen). Prema dnu je temperatura zraka sve manja jer se voda postepeno hladi i predaje sve manje toplinske energije zraku.



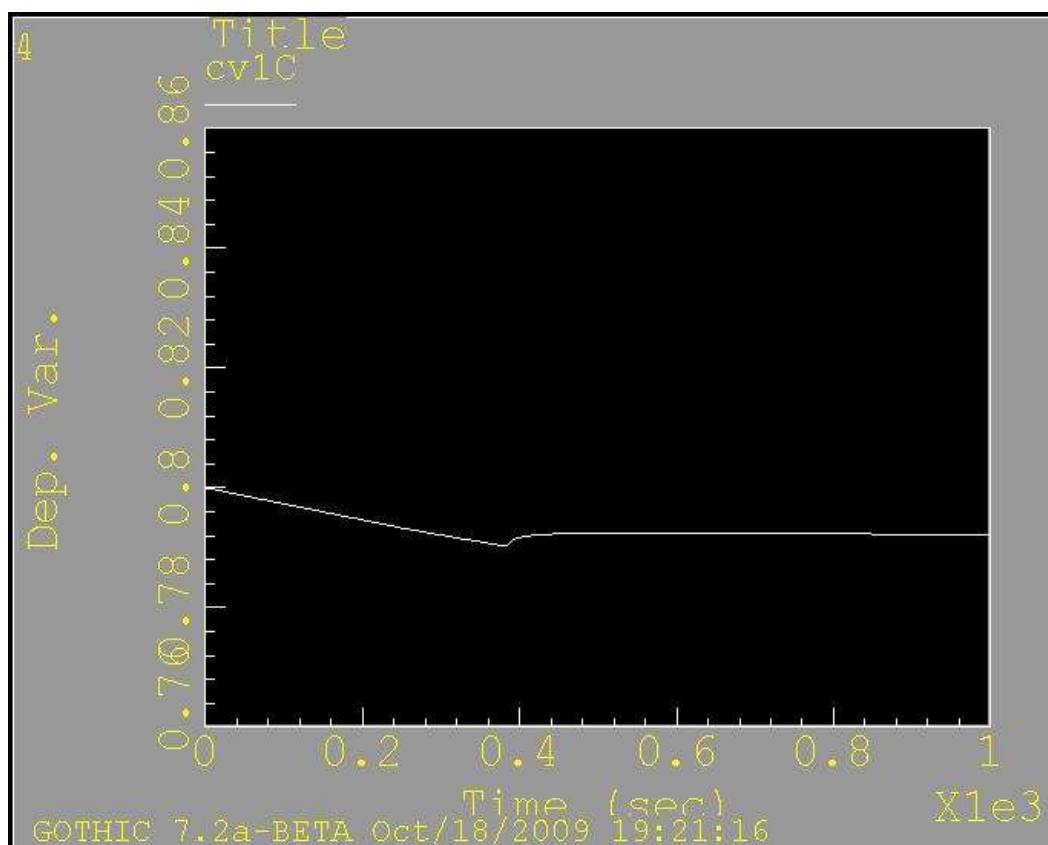
Temperatura vode po razinama također pada prema dnu tornja. Temperatura tako u razini 2. podvolumena tornja (i u 3 razine više), padne čak ispod temperature okolnog zraka. Ta temperatura iznosi 12.68°C. Ovo bi se dalo protumačiti utoliko što bi voda i prijenosom topline na zrak, ali i isparavanjem predala toliko topline da bi joj temperatura pala ispod temperature zraka.



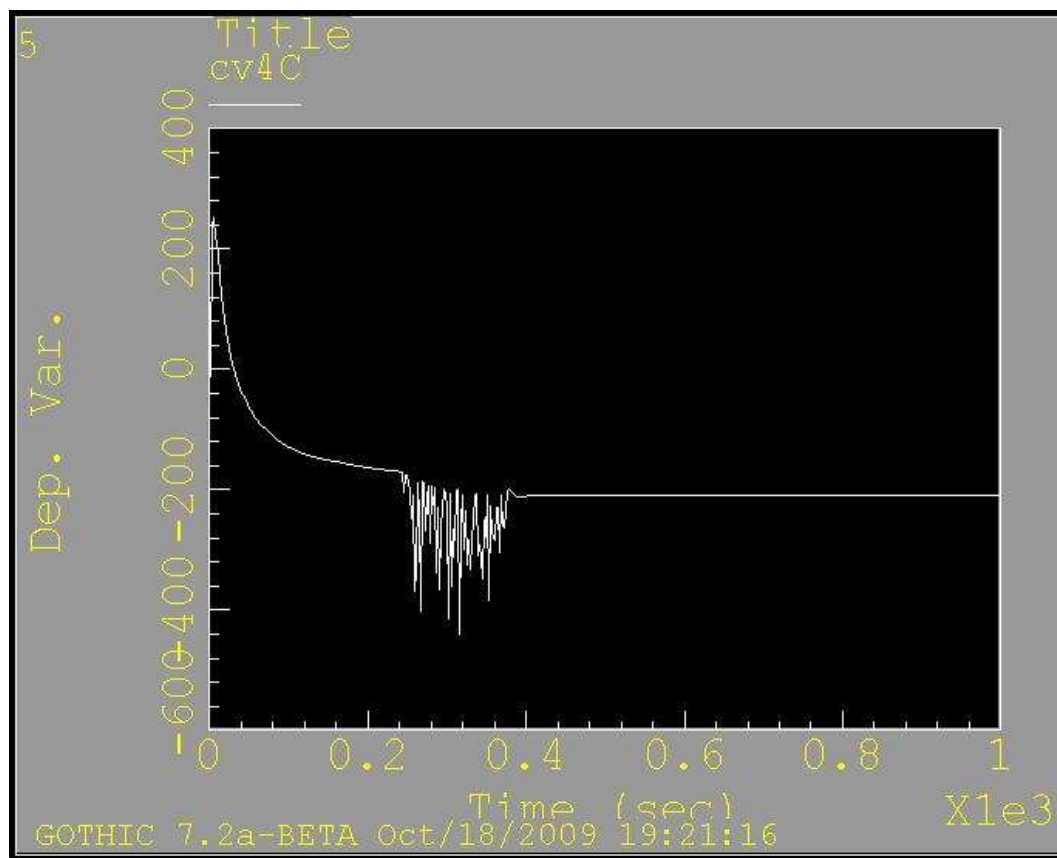
Ukupna brzina isparavanja vode dobivena pomoću kontrolne varijable 2C, iznosi 0.126 kg/s i prikazana je na sljedećem grafu.



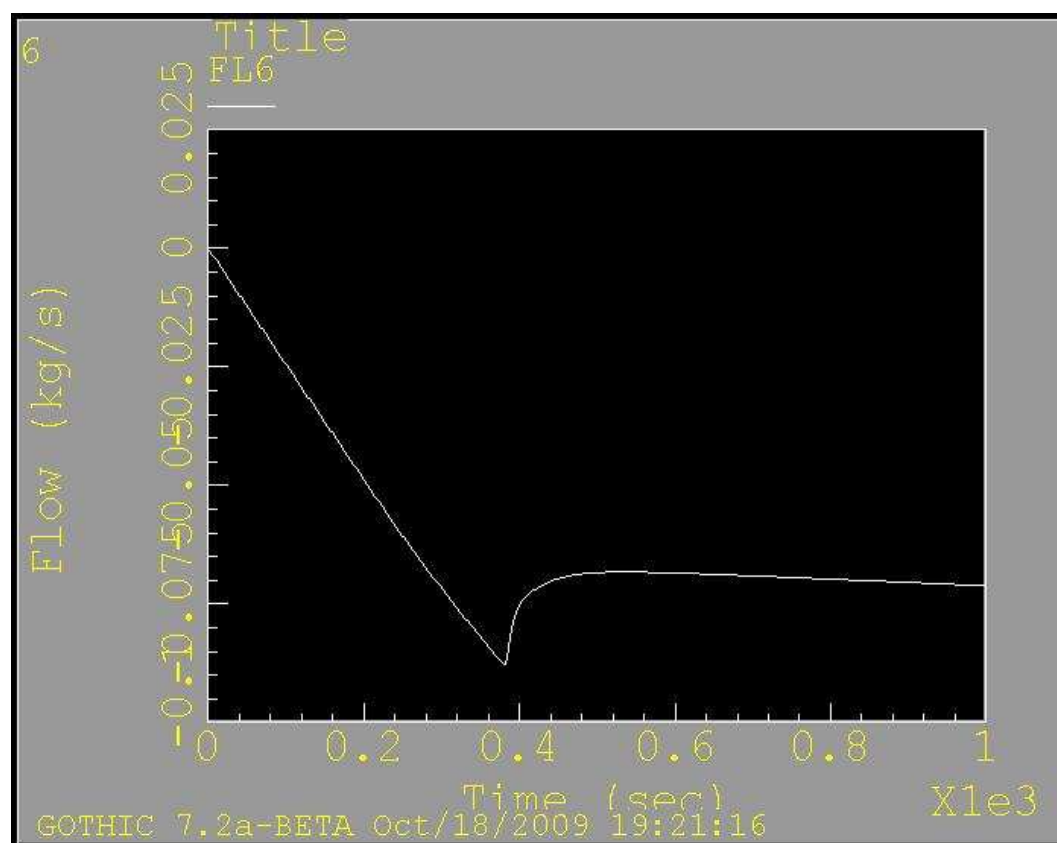
Zbog isparavanja vode iz rashladnog tornja gubi se dio vode iz rashladnog kruga. Ovaj gubitak vode vidljiv je po sniženju razine vode u bazenu. Ako nivo vode padne ispod 0.8 m onda se uključuje sustav za nadoknadu vode. Nivo vode u bazenu uz uključen sustav nadoknade vode stabilizira se na 0.792 m.



Snaga tornja u stacionarnom stanju iznosi 210.117 kW. Na grafu se vidi negativna vrijednost snage zbog toga što smo u ovom primjeru računali snagu tornja s masenim protokom i razlikom entalpija vode, a voda predaje toplinsku energiju zraku. Međutim, kad bi se snaga računala sa podacima zraka, dobila bi se ista snaga, ali pozitivnog predznaka zbog toga što je sada u pitanju zrak koji prima toplinsku energiju.



Maseni protok dodane vode iznosi 0.0711427 kg/s.



Relativna vlažnost po razinama naraste na vrijednosti blizu 100%, stoga da relativna vlažnost raste s visinom tornja. U razini 6 ona iznosi 98.073%, a na višim razinama je čak i viša budući da se manje vode kondenziralo u kapljice.

