



mr. Miroslav Šander, dipl. ing. stroj.
Elektroprojekt, d. d.

EKOLOŠKI I GOSPODARSTVENI IZAZOVI PRI PROJEKTIRANJU ENERGETSKIH POSTROJENJA

SAŽETAK

U procesu projektiranja sažimlju se i međusobno suprotstavljaju ekološki i gospodarstveni zahtjevi prema elektrani koja će se graditi.

Zahtjevi na zaštitu okoliša, izrečeni u zakonima, u regulativi i međunarodnim propisima, često povećavaju troškove izgradnje, što onda povećava investicijske troškove i troškove proizvodnje energije. Projektant mora načiniti kompromis između suprotstavljenih zahtjeva. U članku je prikazan odnos tehnologije i ekologije s aspekta projektiranja, s posebnim naglaskom na zagađivanju zraka. Prikazan je utjecaj zagađivanja zraka na ljudsko zdravlje i odnos inženjera prema toj specifično zdravstvenoj problematici. Također se pokušava prikazati postojeće svjetske standarde i moralne dileme u uravnotežavanju troškova i zaštite okoliša.

ABSTRACT

In design process of Thermal Power Plant various ecological and economic contradictory interests are brought in focus. Requests on Environmental protection written in laws, standards and International Treaties are increasing Investment costs and Energy production costs.

In a design phase there is a task to reconcile these contradictory requests. The paper presents relationship between Technology and environmental protection with a focus on Air Pollution.

Air Pollution and Human Health is considered taking in account the role of design phase in Thermal Power Plants project and Human Health problems. International laws and standards are presented with moral dilemmas concerning low investment costs and high environmental standards.

1. UVOD

Ekologija u projektiranju znači zadovoljavanje postojeće regulative određenim novčanim sredstvima i postojećom tehničkom razinom energetskih strojeva, respektirajući najnovije znanstvene spoznaje i nastojeći ih ugraditi u projektna rješenja.

Projektant mora u prvi plan stavljati zaštitu okoliša, ali to zahtijeva tehničke i gospodarstvene kompromise.

Projektant ne smije o ekologiji razmišljati apstraktno i stavljati njezine zahtjeve u daleku utopijsku budućnost nego mora konkretno, danas i ovdje, prihvatiti da je svaki energetska objekt nužno zlo koje se mora uskladiti sa zahtjevima zaštite okoliša.

Energetsko postrojenje, a posebice termoelektrana, zagađuje okoliš tako što u njega unosi neki otpad. Smanjivanjem otpada, njegovim odvođenjem i raspodjelom projektant svodi zagađivanje okoliša na minimum.

Ukoliko je znatan njegov utjecaj pri odabiru glavne opreme onda on treba uskladiti zahtjeve za zaštitu okoliša s tehničkim zahtjevima za opremu, uz minimalne troškove. Savjest projektanta treba se ravnati prema onim kriterijima koji smanjuju lokalno i globalno zagađivanje, koji umanjuju nepovoljne globalne klimatske promjene i koji dugoročno umanjuju opasnost za ljudsko zdravlje.

Pri projektiranju i odabiru tehnologija za termoelektrane nužno je uzeti u obzir ekološke zahtjeve. Tvrdimo da se ekologija u energetici s praktične točke gledišta mora shvatiti šire nego što je uobičajeno, tj. ne samo u smislu zbrinjavanja tekućeg, krutog i plinovitog otpada, te toplinskog ugrožavanja, nego se mora uzeti u obzir i zaštita od požara, buke kao i estetski zahtjevi. Dominantno pitanje ipak ostaju ispušni plinovi, i to posebno NO_x na lokalnoj razini, a pokušaj smanjenja CO₂ na globalnoj razini.

2. ODABIR TEHNOLOGIJE

Odabir tehnologije nije samo tehnička odluka temeljena na najboljim tehničkim rješenjima, već je ona i gospodarstvena, politička i psihološka. Naime, o izboru tehnologije ne odlučuje samo projektant nego ponajprije investitor koji predstavlja gospodarstvenu moć iza koje obično stoji država, a ona putem energetske politike ostvaruje dugoročne gospodarstvene planove. Odluka o odabiru neke tehnologije činiti stanoviti kompromis političkih odnosa, a koji su, u krajnjoj liniji, psihološki odnosi, tj. konkretno, to su realne ili fiktivne suprotive: za *plin a protiv ugljena*, za *fosilna goriva a protiv nuklearne energije*, *protiv elektrana a za čisti okoliš* itd. U pozadini se kriju različiti gospodarstveni interesi, različita mišljenja i pogledi, što je normalno za otvoreno tržište i otvoreno društvo. Djelujući putem informacijskih medija nijedna od tih interesnih strana ne bi smjela zaboraviti da je i ona, zauzimajući se za određenu tehničku opciju, ujedno i projektant postrojenja. Ili, drugim riječima, svatko tko sudjeluje u odabiru tehnologije trebao bi uzeti u obzir da se danas ne može bez proizvodnje energije kao što se ne može ni bez zdravog okoliša.

Odabir tehnologije budućeg energetska postrojenja je određen s više čimbenika od kojih su zasigurno najvažniji:

- A. očekivana potrošnja energije
- B. gospodarstveno stanje zemlje koja gradi elektranu
- C. energetske izvori u zemlji i cijene energenata na svjetskom tržištu
- D. stupanj djelovanja elektrane, on je posebno značajan za termoelektrane (a u ovom članku naglasak je na termoelektranama)
- E. pouzdanost i raspoloživost ponuđene tehnologije
- F. ekološka problematika vezana uz odabranu tehnologiju, tj. stupanj zagađivanja okoliša postrojenja odabrane tehnologije.

U slučaju termoenergetskih postrojenja toplinski stupanj djelovanja postrojenja je svakako najvažniji čimbenik. On je početkom stoljeća iznosio svega nekoliko postotaka, da bi oko 1960. godine dosegao i 40%. Daljnji porast ovisi prvenstveno o novim materijalima. Istovremeno se cijena energije od 320 c/kwh smanjila na svega nekoliko centa po kilovatsatu [1]. Stupanj djelovanja postrojenja sigurno ne čini samo toplinski stupanj djelovanja glavnog toplinskog stroja, ali ćemo ovdje od njega početi, jer poboljšanje toplinskog stupnja djelovanja glavnog toplinskog stroja bitno doprinosi poboljšanju ukupnog stupnja djelovanja elektrane. Definiramo li ga kao omjer između snage na stezaljkama generatora i toplinske energije privedene stroju u jedinici vremena

$$\eta_T = \frac{P_{gen} [W]}{Q_{dov} [J / s]} \quad (2.1)$$

Iako pokazujemo da je specifični potrošak topline recipročna vrijednost stupnja djelovanja, tj.

$$SPT = \frac{Q_{dov}}{P_{gen}} \cdot 3600. \quad (2.2)$$

Množimo s 3600 stoga da bi SPT izrazili u kJ/kWh. Količina privedene topline je razmjerna ogrjevnoj moći goriva H_d ŠkJ/kgČ i potrebnoj količini goriva B u jedinici vremena [kg/s]:

$$Q_{dov} = B \cdot H_d [kJ / s]. \quad (2.3)$$

Iz toga se vidi da je potrebna količina goriva

$$B \text{ [kg/s]} = \frac{SPT \text{ [kJ/kWh]} \cdot P_{gen} \text{ [kW]}}{H_d \text{ [kJ/kg]} \cdot 3600 \cdot [s/h]} \quad (2.4)$$

Jasno je da boljim (manjim) specifičnim potroškom SPT smanjujemo potrebnu količinu goriva B [kg/s], što je od bitne gospodarsvene i ekološke važnosti. Snaga P_{gen} u odabiru tehnologije određena je očekivanom potrošnjom energije kao i financijskim mogućnostima investitora (točka A i B), dok će energetske izvori u zemlji i cijena energenata na svjetskom tržištu odrediti vrstu goriva, a time i H_d .

Jedan od mogućih pregled suvremenih tehnologija dan je u tablici 2.1 [2].

Letimičan pogled na tablicu pokazuje da je plin kao gorivo nadmoćan ugljenu po cijeni i po emisiji ispušnih plinova, kao i po stupnju djelovanja. No, tog zemnog plina, uz postojeću svjetsku potrošnju ima svega za još 120 godina, dok ugljena ima za sljedećih 1500 godina, što ukazuje na to da projektant i investitor moraju uzeti u obzir i stabilnost cijene goriva.

Iako odabrana tehnologija određuje η , tj. SPT, i nakon odabira tehnologije projektant može i mora pokušati poboljšati SPT. Zahtjevi projektanta za smanjenjem SPT moraju imati potporu investitora, a nemoguće ih je ostvariti bez suradnje isporučitelja glavne energetske opreme. Primjerice, u slučaju čistog parnoturbinskog postrojenja kondenzacijskog tipa, poboljšanja se mogu ostvariti konstrukcijskim izmjenama na parnoj turbini i to:

- na privodu pare na ventilima svježeh pare i regulacijskim ventilima
- na akcijskom kolu i sapnicama
- na strujnom aparatu visokotlačnog dijela turbine
- u protočnom ST (srednjetačnom) dijelu turbine i NT (niskotlačnom) dijelu turbine.

Bit spomenutih konstrukcijskih izmjena čini prilagođavanje geometrije strujnog aparata turbine aerodinamici strujanja u glavnim režimima rada. Povećanje stupnja djelovanja parne kondenzacijske turbine funkcijski ovisi o geometriji turbine, hrapavosti, Reynoldsovom broju, koeficijentu opterećenja MU itd. Smanjenje specifičnog potroška kondenzacijske parne turbine smanjuje godišnju potrošnju goriva potrebnog za pogon turbopostrojenja, a također i cijenu generiranja energije.

Tablica 2.1. Tehnologije proizvodnje energije fosilnim gorivima

	Cijena postrojenja (USD po kilovatu snage)	Postotak redukcije emitiranog SO ₂	Emisija NO _x (miligrama po 10 ⁶ Joula el.energije)	Procjena emisije CO ₂ (CO ₂ kg/kWh)	Stupanj djelovanja postrojenja [%]
Parnoturbinsko postrojenje					
gorivo - plin	760	*	180	0,62	36 do 40
gorivo - ugljen (s pročišćavanjem dimnih plinova)	1600	90	300	0,79	34 do 40
Kombinirano postrojenje (parna i plinska turbina)					
gorivo - plin	520	*	15	0,55	47 do 51
gorivo - ugljen (uplinjen)	1700	99	25	0,73	42
Izgaranje u fluidiziranom sloju pod tlakom (ugljen)	1200	90	60	0,70	42
Plinska turbina s injektiranjem pare					
gorivo - plin	410	*	15	0,58	40
gorivo - ugljen (uplinjeni)	1300	99	25	0,73	36
Plinska turbina s injektiranjem pare i međuhlađenjem					
gorivo - plin	400	*	10	0,55	47
gorivo - ugljen (uplinjeni)	1030	99	20	0,73	42

Opisanim poboljšanjima u konstrukciji parne turbine snage 60 MW, tlaka 87 bara, temperature 510°C, smanjuje se SPT s 9179 kJ/kWh na 8978 kJ/kWh [3], što je smanjenje SPT za približno 2%. Pokazuje se da su znatne uštede u potrošnji goriva te da se smanjuje cijena generiranja energije (centi/kWh). Uočljivi dobici pri smanjenju SPT na manjoj kondenzacijskoj parnoj turbini snage 60 MW postaju značajni kod većih turbina snage 300 MW i više.

Jedan od načina gospodarstvene evaluacije poboljšanja pomoću SPT je putem godišnje cijene goriva potrebnog za pogon turbopostrojenja F [USD]:

$$F = f \cdot \sum_{i=1}^n (P_{gen_i} \cdot L_i \cdot T_i \cdot SPT_i). \quad (2.5)$$

Pri tomu je P_{gen_i} [kW] snaga na stezaljkama generatora u i -tom režimu rada, L_i faktor opterećenja u i -tom režimu rada, T_i sati rada s i -tim režimom, a SPT_i je specifični potrošak za i -ti režim rada. Oznaka f je jedinična cijena topline u USD/kJ [4].

Pored godišnje potrošnje goriva gospodarstveno nam je još važnija cijena generiranja energije R [cent/kWh].

$$R = \frac{C_n \cdot I + F_n + O_n}{G_n}, \quad (2.6)$$

gdje je I izvorna investicija, C_n stopa otplate investicije, O_n operativni troškovi za tipičnu godinu, G_n ukupno generirana energija za tipičnu godinu, dok je F_n izraz iz (2.5), ali u (2.6) je uzet za tipičnu godinu. Putem F_n SPT ulazi u (2.6) kao temeljni gospodarstveni faktor koji određuje cijenu generiranja energije, kao i troškove za gorivo u (2.5).

3. ZAKONODAVSTVO I ETIKA KAO INŽENJERSKI PROBLEM

Pretpostavka je međunarodnog i nacionalnog ekološkog zakonodavstva da ograničenja zadana u zakonima i u regulativi čine dobro svima i nisu zbog jednog naroda ili države nego zbog planete Zemlje. Međunarodno i nacionalno zakonodavstvo izviri iz općeg dobra i općeg interesa svih stanovnika planete Zemlje, posebno uzimajući u obzir dugoročno stanje zraka, vode i tla kao temelja života. Međunarodno se zakonodavstvo, u suglasju s nacionalnim zakonodavstvima, brine da bi se dugoročno održavali ciljevi viši od trenutačnih tehničkih (energetskih) ciljeva. To su norme koje bi morale biti dio inženjerske i projektantske savjesti, a treba ih spomenuti poimence:

Declaration of the UN Conference on the Human Environment, 1972, Declaration of the UN Conference on Environment and Development, 1992, World Charter for Nature, 1982, Convention for the Protection of the Ozone Layer, 1985 i Protocol on

Substances that Deplete the Ozone Layer, 1987, UN General Assembly Resolution 45/33: Protection of Global Climate for Present and Future Generations of Mankind, 1988, Framework Convention on Climate Change, 1992, Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, 1979. i Protocol on Further Reduction of Sulphur Emissions, 1994. itd.

Dobra smjernica je američko zakonodavstvo koje slijedi "Clean Air Act" iz 1963., kojem dodaje "The Clean Air Act Amendments" iz 1970. i 1977. godine. "The Clean Air Act Amendments" traži da Agencija za zaštitu okoliša (EPA) uspostavi standarde za kakvoću zraka - *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)*, i to standarde za zaštitu narodnog zdravlja, kao i za zaštitu materijalne imovine. Na spomenute propise nadovezuje se čitav niz amandmana i dodatnih zakona.

Njemačka je regulativa izrečena kroz *TA-Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft)*, *MAK (Maximale Arbeitsplatzkonzentration)*, te *MIK (Maximale Immissionskonzentration)* i *GFAVO (Grossfeuerungsanlagen-Verordnung)*.

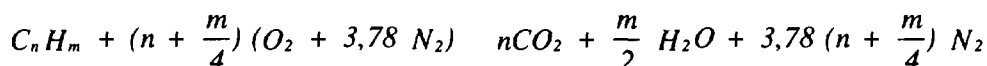
Jasno je da male zemlje slijede regulativu velikih industrijskih zemalja u vezi otpadnih plinova i voda, a njih bi se projektant i vlasnik postrojenja morali pridržavati i istovremeno iz njih crpiti osnovne smjernice glede zaštite okoliša.

Moguće je da dobici pri odabiru i projektiranju opreme navode pojedine projektante i investitore na zaobilazanje propisa i zakona, ali je očito je da oni kratkoročno štete prvo sebi, a dugoročno svima. Elektrana koja se gradi (a promatrano šire još i industrija i transportna sredstva) samo su dio svjetskog tehničkog laboratorija koji je započeo svojim radom sredinom ovog stoljeća. U tom eksperimentu, koji još traje, sudionici smo svi mi, pri čemu neke rezultate osjećamo na vlastitoj koži (vastitim plućima), a neke će osjetiti buduće generacije putem promjena koje ugrožavaju sastav atmosfere, klimu i vode te biološke vrste. Promjenu sastava atmosfere naznačuje tablica 3.1 [5], a iz nje se vidi da će se koncentracija glavnih zagađivača atmosfere početkom sljedećeg tisućljeća povećavati.

Također se vidi da će koncentracija ugljičnog dioksida (CO₂) biti gotovo dvostruko veća, što uz povećanje metana (CH₄) može uzrokovati vidljive klimatske promjene. Promjene klime su simulirane primjerice u "Geophysical Fluid Dynamics Laboratory" sveučilišta u Princetonu i u sličnim institucijama, uzimajući u obzir interakciju oceana i atmosfere te uz primjenu zakona mehanike fluida o održavanju mase, količine gibanja, energije, te jednadžbe stanja. Rezultati tzv. Globalnog cirkulacijskog modela (GCM) govore da bi udvostručenje CO₂, ili ekvivalentno povećanje CH₄, izazvalo prosječno povećanje temperature zemaljske površine od 3 do 5,5°C. Glavna komponenta zemnog plina CH₄ je "greenhouse gas", tj. on je jači apsorber infracrvenog zračenja od CO₂, iako mu je vrijeme prisutnosti u atmosferi kraće. Pri ekstrakciji i transportu zemnog plina događa se znatno propuštanje u atmosferu, što je sigurno znatan globalni ekološki negativan faktor.

Možemo se nadati da je takovo neviđeno zagrijavanje rezultat nepotpunog matematičkog modela u kojem nije uzet u obzir toplinski kapacitet oceana (hlađenje), djelovanje čestica SO₂ kao nukleusa kondenzacije pa time one utječu na stvaranje oblaka (hlađenje), te da računala nisu imala dovoljno memorije za potpunu simulaciju itd. No, rezultati ukazuju na opasnosti, te na nužnost stvaranja i poštivanja međunarodnih zakona kao i prilagođavanje nacionalnih zakona, međunarodnim zakonima.

Kao graditeljima postrojenja dužnost nam je međunarodne zakone i zakone vlastite države glede zaštite okoliša praktično provoditi, a ne ih samo načelno prihvaćati. Odabir tehnologije sa što manjom emisijom CO₂ u atmosferu mora biti dio savjesti i etičkih načela projektanta i investitora. Kada bi se naime pri izboru tehnologije uzimali u obzir matematički modeli zagrijavanja zbog efekta staklenika, trebalo bi odabrati tehnologiju u kojoj nema emisije CO₂, NO_x, SO₂ itd., a to su hidroelektrane ili nuklearne elektrane. Kod fosilnih goriva emisija CO₂ je određena stehiometrijom izgaranja. Tako na primjeru stehiometrije izgaranja nekog ugljikovodika



vidimo da po svakom molu izgorenog goriva dobivamo n molova CO₂ pa je prema odabranom gorivu definirana i frakcija CO₂ u ispušnim plinovima. Čini se da mi projektanti u vezi globalnog povećanja CO₂ ne možemo ništa učiniti. No, ako se molarni odnosi pretvore u masene kilografske odnose, onda jasnije vidimo da projektant, smanjenjem specifičnog potroška topline (SPT), može doprinijeti globalnom smanjenju CO₂. Smanjenje SPT smanjuje potrošnju goriva, što znači da za istu proizvedenu snagu izbacujemo u atmosferu manju količinu CO₂. Isto vrijedi i za ostale u smjesi ispušnih plinova.

Raspodjela voda je na Zemlji nejednolika jer je 97,41% voda u oceanima i morima, a tek 2,59% na kontinentima. Od tih 2,59% vode na kontinentalnoj masi, veći dio se ne može koristiti, tj. 99,986% se nalazi u ledenim kapama i ledenjacima ili duboko u tlu, a ostatak od 0,014% u jezerima, rijekama i vlažnom tlu. Zagađivanju voda najviše doprinosi kemijska industrija, ali nije zanemariv udio energetike putem zraka. Izbacivanjem NO_x i SO₂ u atmosferu stvaraju se kisele kiše koje doprinose kiselosti rijeka i jezera. Protiv zagađivanja voda u okolišu ne borimo se dakle samo prikupljanjem i separacijom otpadnih voda nego također smanjenjem količine ispušnih plinova koji na širem području zagađuju vodu.

Tablica 3.1. Promjena sastava atmosfere

PLIN	GLAVNI ANTROPOGENI IZVORI	ANTROPOGENA UKUPNA EMISIJA PO GODINI U (10 ⁶ tona)	PROSJEČNO VRIJEME PRISUTNOSTI U ATMOSFERI	PRIBLIŽNA KONCENTRACIJA PRIJE 100 GODINA (ppb)	PRIBLIŽNA SADAŠNJA KONCENTRACIJA (ppb)	KONCENTRACIJA 2030. GODINE (ppb)
Ugljični monoksid (CO)	Izgaranje fosilnih goriva i biomasa	700/2000	mjeseci	40 do 80 na sjevernoj polukugli, a južna je polukugla čista	100 do 200 sjeverna polukugla	Vjerojatno će se povećati
Ugljični dioksid (CO ₂)	Izgaranje fosilnih goriva i požari u šumama	5500/č5500	100 godina	290 000	350 000	400 000 do 550 000
Metan CH ₄	Rižina polja, stoka, proizvodnja i transport zemnog plina	300 do 400/500	10 godina	900	1700	2200 do 2500
NO _x plinovi	Izgaranje fosilnih goriva i biomasa	20 do 30/30 do 50	dani	0,001 do 7	0,001 do 50	0,001 do 50
Dušični oksid N ₂ O	Dušična gnojiva, požari u šumama, izgaranje biomasa	6/25	170 godina	285	310	330 do 350
Sumporni dioksid	Izgaranje fosilnih goriva i taljenje ruda	100 do 130/150 do 200	dani i tjedni	0,03	0,03 do 50	0,03 do 50

*ppb = *parts per billion* (10⁹) – milijardinka

4. PROJEKTIRANJE TERMOENERGETSKOG POSTROJENJA

Ukupan stupanj djelovanja termoenergetskog postrojenja izražavamo ovako

$$\eta = \eta_T \cdot \eta_K \cdot \eta_C \cdot \eta_E \cdot \eta_{TR} \cdot \eta_Z \quad (4.1)$$

Najveći napori za poboljšanje ukupnog stupnja djelovanja koncentrirani su na η_T (2.1), ali napori projektanta ne mogu biti usmjereni samo na glavni toplinski stroj nego i na η_K stupanj djelovanja kotla, η_C stupanj djelovanja cjevovoda, η_E stupanj djelovanja elektroopreme te stupanj djelovanje transformatora η_{TR} . Napominjeno da je η_G stupanj djelovanja generatora u ovom razmatranju uključen u η_T jer snagu mjerimo na stezaljkama generatora.¹

Povećanjem ukupnog stupnja djelovanja termoenergetskog postrojenja smanjujemo ukupni specifični potrošak topline SPT i time doprinosimo manjem zagađivanju okoliša. S η_Z je označen stupanj djelovanja opreme za zaštitu okoliša čiji je zadatak smanjiti zagađivanje okoliša (odsumporavanje ispušnih plinova, smanjenje dušičnih oksida u plinovima itd.), a koja, prigradnjom na glavnu opremu, smanjuje stupanj djelovanja te opreme. Ako je odabrana neka od tehnologije, prema tablici 2.1, ali nisu definirani svi parametri odabrane tehnologije projektantu ostaje čitav niz mogućnosti poboljšanja pojedinih stupnjeva djelovanja u (4.1), kao i igra s parametrima postrojenja.

Novom generacijom čelika moguće je povećanje tlaka i temperature postrojenja. Prema slici 4.1 može se povećanjem tlaka s 250 bara na 300 bara i temperature s 540°C na 600°C dignuti ukupni stupanj djelovanja za približno 1,5%. Dvostruko međupregrijanje pare povećava η za približno 1%. Smanjenje tlaka u kondenzatoru s 0,065 bara na 0,03 bara moglo bi povećati h za daljnjih 2%. Kao što sl. 4.1 pokazuje, za postrojenje loženo ugljenom, poboljšanje stupnja djelovanja moglo bi teoretski dosegnuti i do 46%. Tako *PreussenElektra* u Lübeck-Siemsu najavljuje za svoje postrojenje od 400 MW stupanj djelovanja od 45%. No, to treba uvijek uzimati s rezervom jer se nameće pitanje koliko dugo će postrojenje raditi s takvim η i jesu li sva mjerenja bila dovoljno objektivna.

Predgrijavanje napojne vode doprinosi povećanju η , ali uz termodinamičku optimizaciju i gospodarstvenu evaluaciju broja predgrijača. Projektna i tehnička razrada detalja koji se mogu činiti nevažnim, doprinosi daljnjem povećanju η , ali, što je najvažnije, održavanju tog stupnja djelovanja kroz dulji životni vijek postrojenja, jer nije nevažno hoćemo li stupanj djelovanja od 40% imati samo prvu godinu pogona ili ćemo ga uspjati održati i u idućih deset. U takvu tehničku razradu spada transport

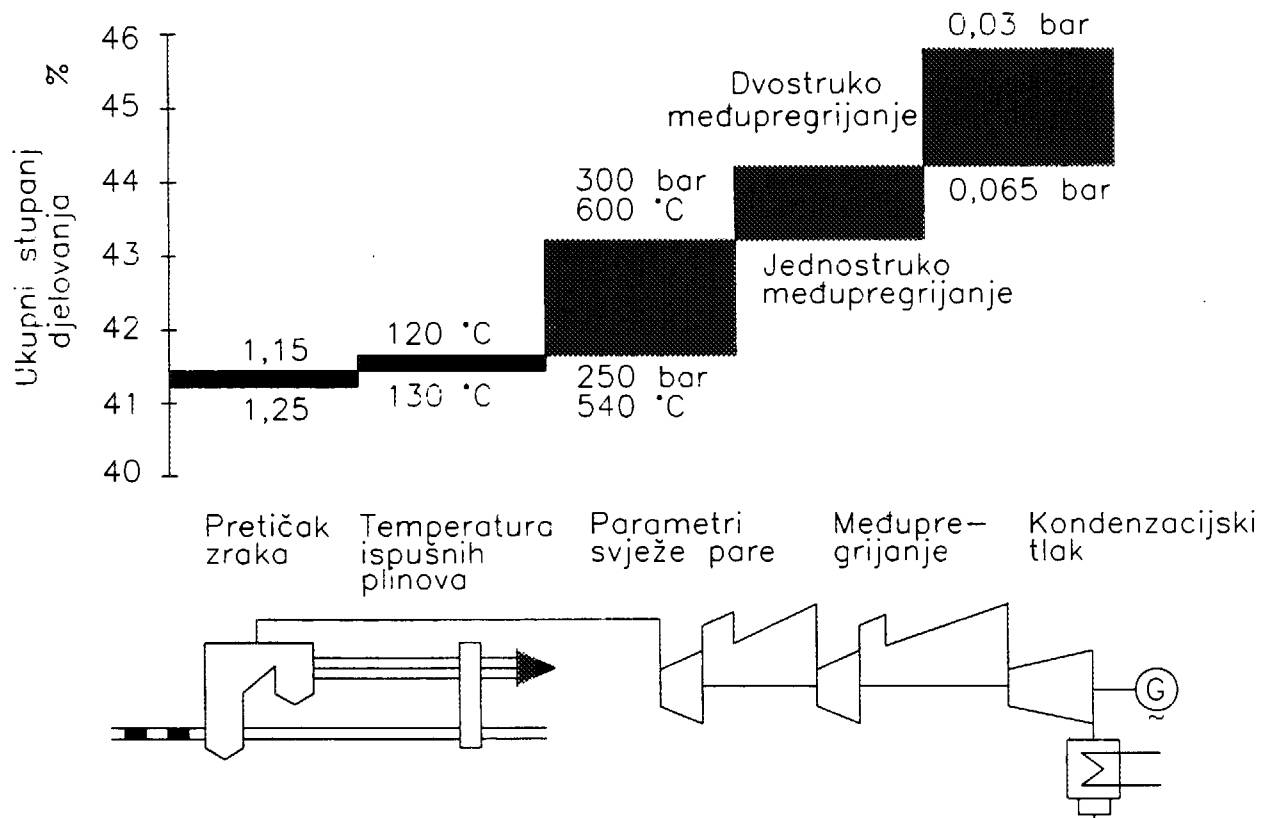
¹ Spomenimo samo da bi uvođenje supravodljivih generatora, ovisno o opterećenju povećalo $\eta_G = 97,5$ do 98,5% na $\eta_G = 99$ do 99,5%,

i priprema goriva, rashladna voda, cjevovodi i armature, mjerenje, regulacija i upravljanje postrojenjem, kemijska priprema vode itd.

Poboljšanje stupnja djelovanja elektroopreme, generatora i transformatora je posebno poglavlje i zahtijeva posebnu elaboraciju. Spomenimo ovdje samo najvažniji aspekt povećanja η na elektromotornim pogonima, a to je projektna štednja energije na elektromotorima crpki, ventilatora itd. Crpke i ventilatori s elektromotorima rade po Q-H krivulji i u različitim bi režimima pogona morali mijenjati izlaznu snagu da bi učinkovito štedjeli energiju. No, ukoliko su projektirani tako da viši tlak u sustavu ili manju količinu medija u sustavu postizemo prigušivanjem, stupanj djelovanja elektromotornih pogona je vrlo nizak, često oko 31%. Ugradnjom elektromotora s prilagodljivom brzinom vrtnje stupanj djelovanja elektromotornog pogona (primjerice crpke) možemo povećati na ~72%. U slučaju loše projektirane elektromotorne crpke s cjevovodom, tipične vrijednosti mogu biti $\eta_{\text{motora}} = 0,9$, $\eta_{\text{spojke}} = 0,8$, $\eta_{\text{pumpe}} = 0,77$, $\eta_{\text{prigušenja}} = 0,66$ i $\eta_{\text{cjevovod}} = 0,69$, što međusobno pomnoženo daje $\eta_{\text{MOT.POG}} = 0,31$. U slučaju prilagodljive brzine vrtnje $\eta_{\text{motora}} = 0,91$, $\eta_{\text{spojke}} = 0,99$, $\eta_{\text{crpke}} = 0,88$ i $\eta_{\text{cjevovod}} = 0,90$ što daje $\eta_{\text{MOT.POG}} = 0,72$. Pri tome pretpostavljamo ugradnju bolje crpke, spojke i optimalizaciju cjevovoda.

Posebni dio projektiranja je prigradnja opreme za zaštitu okoliša. Zaštitu okoliša bi trebalo započeti izborom tehnologije (tablica 2.1), ali budući da to često nije moguće, mora se postići kompromis između boljeg η i cijene opreme za zaštitu okoliša (vidjeti sl. 5.1). Izbor opreme za odstranjivanje krutih čestica, odsumporavanje i uklanjanje dušičnih oksida i usklađivanje s glavnom opremom nije jedini zadatak projektanta. Pored opreme za zaštitu zraka projektant se mora pobrinuti i o otpadnim vodama (separatori, filtri) i o toplinskom zagađivanju okolnih voda, te o akustičkom zagađivanju urbane sredine. Tome dodajemo još jednu *heretičku* misao u vezi zaštite okoliša: zaštita od požara i estetika energetskog postrojenja. Zaštita od požara se ne smatra zaštitom okoliša, već zaštitom od ekscenčne situacije, ali recimo da je svaki veliki požar ujedno i veliko zagađivanje okoliša. Ukoliko ulažemo u zaštitu od požara, time i preventivno ulažemo u zaštitu okoliša.

Energetsko postrojenje je novi tip arhitekture i estetike, ono ne mora *a priori* biti neestetično i odvratno, dapače na njega se može gledati kao na novi izražaj moderne industrijske civilizacije, ali pod uvjetom da se unosi odgovarajuća kompozicija boja i oblika.



Sl.4.1 Učinci pri određenim zahvatima u svrhu povećanja stupnja djelovanja

5. ZAGAĐENJE ZRAKA I LJUDSKO ZDRAVLJE

Preporuke Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) su dobar vodič i normativ za ocjenu kakvoće zraka.

U tablici 5.1 dane su granične vrijednosti za zaštitu zdravlja, a u tablici 5.2 granične vrijednosti za zaštitu vegetacije. Te su vrijednosti dugoročni cilj. Za vrijednosti manje od tih ne očekuje se mjerljiv utjecaj na vegetaciji ni na zdravlju ljudi čak niti pri trajnoj izloženosti [13].

Tablica 5.1. Smjernice za zaštitu zdravlja - granične vrijednosti u $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [13]

PLIN	Granične vrijednosti (kg/m^3)	Prisutnost u atmosferi	IZVOR
SO ₂	40-60 100-125	1 godina 24 sati	80/779/EEC
NO ₂	50 80 150 400	medijan 1-satnih 1 godina 24 sati 1 sat	85/203/EEC TA/Luft 1986 1987 WHO 1987 WHO
CO	30000	1 sat	1987 WHO
O ₃	150-200	1 sat	987 WHO
Lebdeće čestice (mjerene kao crni dim)	40-60 100-150	1 godina 24 sati	80/779/EEC 1987 WHO

Tablica 5.2. Smjernice za zaštitu vegetacije, WHO 1987 [13]

Tvar	Smjernica	Vrijeme uprosječivanja
SO ₂	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 god 24 sati
Ukupno taloženje sumpora	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 god
NO ₂	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 god 4 sata
Ukupno taloženje dušika	3 g/m^3	1 god
O ₃	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 sat 24 sata prosjek za veg. razdoblje

Pri projektiranju novog postrojenja, pitanje ljudskog zdravlja vezanog uz zagađenost zraka često se čini depasiranim i beznačajnim. Međutim nije tako!

Zanemarivanje značenja objavljenih istraživanja vezanosti ljudskog zdravlja i zagađivanja atmosfere je zapravo zanemarivanje etike u prevlasti tehnike, kao i zanemarivanje morala u prevlasti profita. Samo letimičan pogled na istraživanje odnosa između zagađenog zraka i plućnih bolesti daje naznaku o njihovoj uzročno-posljedičnoj vezi. U pogledu bronhitisa [6] nekoliko britanskih istraživača, nakon eliminacije populacijske gustoće, nalaze značajnu ovisnost između bronhitisa i zagađenosti zraka. Higgins (1996) [7] pokazuje da je kronični bronhitis prisutniji u urbanim sredinama nego u zdravijim seoskim sredinama. Šveđanin Cederlöf [8] pokazuje na blizancima uzevši u obzir naviku pušenja i povijest stanovanja, značajniju prisutnost bronhitisa kod onog blizanca koji puši i živi u urbanoj sredini.

Starija su istraživanja pokazala izravnu vezu između povećane zagađenosti zraka i upale pluća, tuberkuloze i astme. Čitav niz istraživanja u SAD-u ukazuje na povećanu smrtnost od raka pluća u zagađenim urbanim sredinama, a slični rezultati dobiveni su i u nekim drugim visokoindustrijaliziranim zemljama, pri čemu je uzeta u obzir okolnost pušenja ili nepušenja. Za tumore nekih drugih organa (želudac, rak prostate) statistički je pronađena veza između zagađenosti zraka i spomenutih tumora.

Već davne 1943. godine Mills je u klasičnoj studiji o utjecaju zagađenog zraka na upalu pluća [9] pokazao značajne ovisnosti između stope smrtnosti od upale pluća i zagađenosti zraka.

Japanski istraživači Yoshida, Takatsuka i Kitabatake (1969) na primjeru trinaestorice pacijenata s područja Tokia i Jokohame dokazuju da su tjedni napadi astme vezani uz povećanu koncentraciju sumpornog dioksida u atmosferi.

Popriličan broj istraživača dokazuje vezu između razine zagađenosti zraka i kardiovaskularnih bolesti. Tako već spomenuti Cederlöf pokazuje, na primjeru blizanaca, da *angina pectoris* prevladava kod blizanca koji puši i živi u urbanoj sredini. Spomenuta istraživanja dokazuju da zagađenost zraka, ako i nije glavni uzrok neke bolesti, ona svakako jest značajan faktor.

Pogrešno bi bilo zaključiti da sva opasnost od zagađivanja okoliša dolazi od elektroprivrede. Neki se odnosi mogu vidjeti iz tablice 5.3 koja daje podatke o količini otpadnih plinova za SR Njemačku za 1984. god. [10].

Iz tablice se vidi da je 1984. godine u Njemačkoj izbačeno $7,4 \cdot 10^6$ tona CO, $2,6 \cdot 10^6$ tona SO₂ i $3 \cdot 10^6$ tona NO_x. Najveći udio emisije CO (59,2%) i NO_x (57,3%) čini promet, dok je po emisiji SO₂ (62,9%) na prvom mjestu elektroprivreda. Elektroprivreda je odmah nakon prometa po emisiji NO_x (27,7%). U SAD-u su emisije naravno još veće. Tako je u 1974. godini emisija NO_x ukupno iznosila $23 \cdot 10^6$ tona, od čega je transport izbacio $10,1 \cdot 10^6$ tona, a izgaranje u energetici, industriji i kućanstvima $11,8 \cdot 10^6$ tona [11].

IZVOR	CO [%]	SO ₂ [%]	NO _x * [%]	ORGANSKI SPOJEVI [%]	PEPEO [%]
Elektroprivreda	0,6	62,9	27,7	1,1	23,5
Kućanstva mala gospodarstva	21,5	9,5	4,3	3,8	8,8
Industrija	18,7	24,0	10,7	8,7	57,0
Promet	59,2	3,6	57,3	45,2	10,7
Proizvodnja otpala	0	0	0	41,2	0
Ukupna emisija (10 ⁶ tona)	7,4	2,6	3,0	1,8	0,65

Tablica 5.3. Plinovita otpadna emisija u postocima u SR Njemačkoj 1984. godine (NO_x* preračunan u NO₂)

Projektant energetskog postrojenja ne može lamentirati nad problemima zagađivanja okoliša već se treba, u skladu sa zakonodavstvom i etičkim načelima boriti se za optimalnu strategiju zaštite okoliša. On, pored zaštite okoliša, ugradnjom uređaja za zaštitu mora razmišljati i o ukupnom stupnju djelovanja elektrane η (4.1). Povećanjem ukupnog η smanjuje se zagađivanje okoliša, ali prigradnjom se uređaja (η_z) nužno i umanjuje ukupni η . Pored toga, mora se razmišljati i o troškovnoj strani dugoročne strane zaštite okoliša prema slici 5.1 [12]. Budući da smo u ovom članku stavili naglasak na zagađivanje zraka, putem njega, zagađivanje vode, na apscisi je nanosena kakvoća zraka, a na ordinati troškovi zaštite okoliša. Razlikujemo dvije vrste troškova, kontrolne troškove, tj. troškove opreme za zaštitu okoliša, te troškove štete nastale u okolišu zbog zagađivanja zraka. Ti troškovi štete uključenju materijalne gubitke zbog zagađivanja (žetva, voda), ugrožavanje ljudskog zdravlja, štete na materijalnim dobrima itd.

Mali stupanj zagađivanja zraka znači visoke kontrolne troškove, dok nisko ulaganje u opremu za zaštitu okoliša znači visoke troškove štete na okolišu, tj. ljudskom zdravlju. Ukupni troškovi zaštite okoliša dobivaju se zbrajanjem kontrolnih troškova i troškova štete, pri čemu nam je cilj minimizirati ukupne troškove. Postavlja se pitanje koliko smo, kao projektanti, investitori i ljudi, spremni ulagati u troškove zaštite okoliša jer troškove štete teško možemo kvantificirati. Zapravo ovo pitanje donosi još jedno novo, koliko su ljudi uopće spremni svjesno prihvatiti da smanjenje ugrožavanja njihovog zdravlja znači odricanje od tehničkih pogodnosti. Procjene ugrožavanja ljudskog zdravlja su malobrojne i mnogi sumnjaju u njih. Jedan pokušaj procjene troškova zdravlja od zagađivanja zraka dan je u tablici 5.4 [Lave i Seskin 1970] [12].

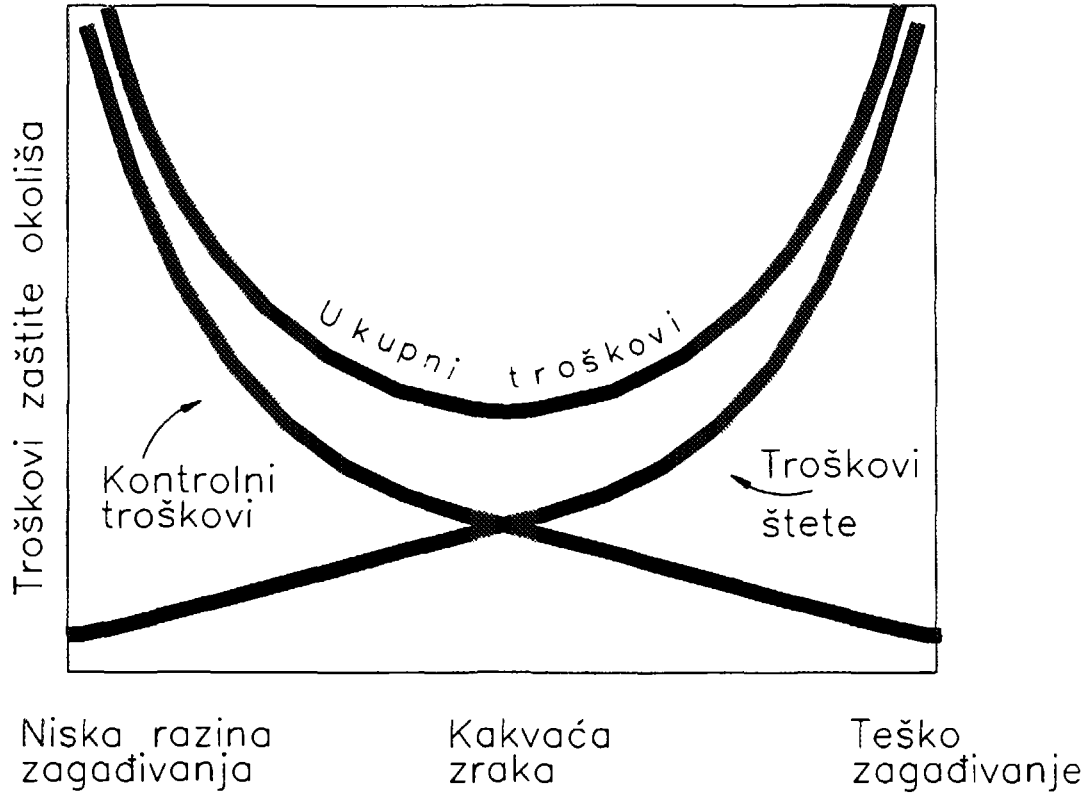
Bolest	Ukupni godišnji troškovi [10 ⁶ USD]	Procjena [%] smanjenja bolesti za 50%-tnu redukciju u zagađivanju zraka	Procjena ušteta za 50%-tnu redukciju u zagađivanju zraka [10 ⁶ USD]
Plućne bolesti	4887	25	1222
Rak pluća	135	25	33
Kardiovaskularne bolesti	4680	10	468
Rak	2600	15	390
			2100

6. ZAKLJUČAK

Pri izgradnji termoenergetskih postrojenja ukupni stupanj djelovanja je osnovica na koju projektant može praktično djelovati nakon što je tehnologija već odabrana. Putem poboljšanja stupnja djelovanja može doprinosti zaštititi okoliša smanjenjem količine nepoželjnih ispušnih plinova za istu proizvedenu snagu. Stupanj djelovanja je recipročan vrijednosti specifičnog potroška topline [SPT], pa povećanjem η smanjujemo SPT, čime gospodarstveno povećavamo učinak postrojenja putem manje godišnje potrošnje goriva te smanjenja cijene generiranja energije. Ukoliko pojam projektanta shvaćamo šire, tj. kao sve zainteresirane strane pri gradnji novog postrojenja, onda taj "projektant" treba uzeti u obzir očekivanu potrošnju energije, gospodarstveno stanje, tehnologije koje mu se nude, njihovu pouzdanost i raspoloživost, ekološku problematiku te nastojati da se odabere ona tehnologija koja će biti optimalna glede spomenutih točaka.

Sigurno je da su nuklearna tehnologija i hidroenergetska postrojenja u ekološkoj prednosti pred termoenergetskim postrojenjima, ali ni ona nisu ekološki apsolutno čista. Kod nuklearnih postrojenja moguće su ekscesne situacije, čemu su primjer Černobilj i Three Miles Island, a kod hidroenergetskih postrojenja javljaju se popratne pojave uništavanja ekosustava nizvodno od brane, zbog toga što je rijeka postala hladnija u akumulaciji (Colorado) ili problemi biološkog minimuma, ako rijeka ne teče starim koritom (Cetina) ili problem erozije, nestajanja pitke vode itd.

"Projektant", shvaćen šire nego što je uobičajeno, dužan je poštivati međunarodno i nacionalno zakonodavstvo. Premda zna da ga ta zakonodavstva mogu vrlo teško "dohvatiti" zbog teškoća u mjerenju ekološke polucije "njegovih" postrojenja, on bi trebao imati na umu etička načela, da bismo planetu Zemlja sačuvali životnom (njezin zrak, vodu, tlo) za sebe i buduće generacije.



Sl.5.1 Troškovi zaštite okoliša kao zbroj kontrolnih troškova i troškova štete

LITERATURA

- [1] R.Hirsch, *"Technology and Transformation in the American Electric Utility Industry"*, Cambridge 1989.
- [2] W.Fulkerson, R.Roddie, *"Energy from Fossil Fuels"*, Scientific American, 1990.
- [3] M. Šander, Z.Kovačević, *"Analiza SPT-e na standardnoj kondenzacijskoj turbini snage 60 MW"*, Dubrovnik 1996, Zbornik radova.
- [4] Bartelet R.L., Mulder J.E. i Sheldon R.C., *"Steam Turbine Performance and Economics"*, McGraw-Hill 1958.
- [5] T.E.Graedel Paul J.Crutzen, *"The Changing Atmosphere"*, Scientific American, 1989.
- [6] Stocks P., *"Cancer and Bronchitis Mortality in Relation to Atmospheric Deposit and Smoke"*, British Medical Journal vol.1, 1959.
- [7] Higgins I.T.T., *"Air Pollution and Chronic Respiratory Disease"*, ASHRAE Journal vol.8., 1966.
- [8] Cederlöf R., *"Urban factor and Prevalence of Respiratory Symptoms and Angina Pectoris"*, Archives of Environmental Health, 1966.
- [9] Mills C.A., *"Urban Air Pollution and Respiratory Diseases"*, American Journal of Hygiene vol. 37, 1943.
- [10] Heintz A., Reinhardt G., *"Chemie und Umwelt"*, Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1991.
- [11] U.S. Environmental Protection Agency, *"Air Quality Criteria for Oxides of Nitrogen"*, Report No. EPA-600/8-82-026 (1982)
- [12] Flagen R.C., J.H. Seinfeld, *"Fundamentals of Air Pollution Engineering"*, Prentice Hall 1988.
- [13] Malbaša N. i ostali, *"Prethodna studija utjecaja na okoliš nove kombi jedinice u TE-TO Zagreb"*, Ekonerg, 1995.