

DK 620.92

Vrednotenje energije v tehniški praksi

ZORAN RANT

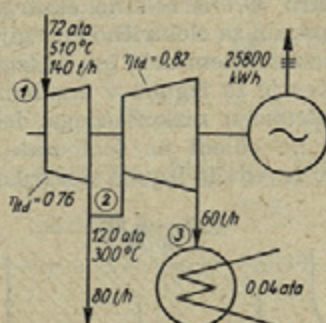
V članku »Vrednost in obračunavanje energije« (SV 1955 — 1, str. 4—7) sem razložil nepravilnost vrednotenja in obračunavanja energije brez upoštevanja njenega delovnega potenciala. Razvil sem teoretično podlago za pravilni postopek, ki vrednoti energijo po njeni eksergiji ali delovni sposobnosti. Tu ne gre le za čisto teoretično gledanje, ki je za prakso več ali manj brez pomena. Zasledovanje toka eksergij skozi neko napravo ali postopek nam takoj odkriva energetično šibke člene in s tem pokaže, kje naj zastavimo sile za energetično poboljšanje naprave. Tega zasledovanje toka energij ne pokaže; nasprotno tako gledanje nas velikokrat dovede v zablodo. Kot primer naj navedem parno energetsko napravo: iz energetskih bilanc izvira, da je kotel zelo dobra naprava (η do 90 %), medtem ko je kondenzacijska turbina zelo slab stroj (η okoli 35 %). V resnici pa razsipa ravno kotel večji del eksergije in dobavlja turbini razmeroma malo vredno energijo. Turbina je dober stroj, ki pa zaradi slabe hrane seveda ne more dati kaj prida od sebe.

Namen tega članka pa ni, razpravljati o presojanju kakovosti naprav, v katerih se predelava energija, temveč pokazati na nekaterih, iz prakse vzetih zgledih, kako se pravilno vrednoti in obračunava energija v sestavljenih napravah, in tako dobljene rezultate primerjati z rezultati »klasične« (napačne) metode. Upam, da bo tako postalo vse jasnejše in bolj plastično tudi tistim, ki jim je to gledanje še nekam tuje in nelagodno. To je predvsem našim inženirjem v praksi, ki so poklicani, da upajajo pravilne metode v vsakdanje tehnično življenje.

V naslednjih primerih iz naše tehnike so številčne vrednosti ponekod malo zaokrožene.

PROJEKTIRANA TOPLARNA ZAGREB

Na sliki 1 vidimo principialno shemo enega turboagregata toplarne z označbo pretokov in stanja pare ter proizvedene električne energije. Para visokih parametrov teče najprej skozi visokotlačni del turbine; nato se odcepi en del pare v kurilne namene, ostanek pa teče skozi nizkotlačni del stroja v kondenzator. Vprašanje je, kako naj se delijo stroški pare na proizvodnjo električnega toka in kurilne pare. Stari način upošteva v visokotlačnem delu le iz pare odvzeto entalpijo in sramežljivo pozablja na to, da so tam porabljene kalorije zaradi visoke temperature posebno dragocene. Pravilni postopek določi v vsaki fazi porabljeno eksergijo in obračuna stroške pare v razmerju porabljenih



Sl. 1.

eksergij. Spominjamo se, da izračunamo eksergijo nekega telesa ali sistema po obrazcu:

$$Ex = I_i - I_o - T_o (S_i - S_o)$$

za 1 kg posamezne snovi pišemo obrazec

$$ex = i_i - i_o - T_o (s_i - s_o)$$

Indeks »i« pomeni začetno stanje, indeks »o« pa stanje pri tlaku in temperaturi okolice.

Stanje okolice bomo definirali za naše račune:

$$T_o = 288^\circ \text{K} (15^\circ \text{C}), p_o = 1 \text{ kp/cm}^2$$

V razpredelnici 1 so sestavljeni parametri pare oziroma vode in pripadne entalpije ter eksergije na mestih, ki so označena na sliki 1.

Razpredelnica 1

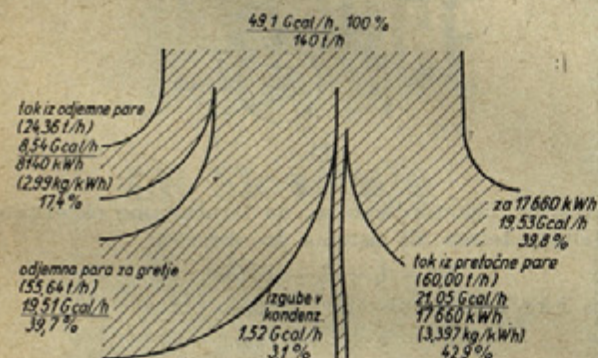
Mesto	1	2	3
i_i kcal/kg	819,6	727,6	553,6
s_i kcal/kg °K	1,6288	1,6805	1,8360
i_o kcal/kg		15,0	
T_o °K		288	
ex kcal/kg	350,9	244,1	25,3
Δex_v kcal/kg		106,8	
i_{kond} kcal/kg		28,6	
$i_{i\text{ razp}}$ kcal/kg	791,0	699,0	525,0
$\Delta i_{i\text{ razp}}$ kcal/kg		92,0	

$\Delta ex_v = ex_1 - ex_2$ je v visokotlačnem delu za produkcijo toka porabljena eksergija.

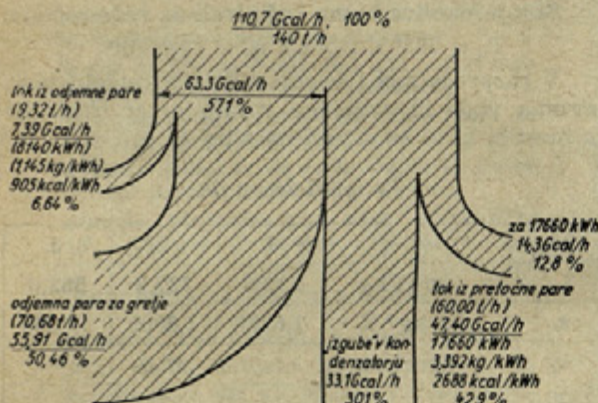
$i_{i\text{ razp}}$ je razpoložljiva entalpija, ki jo dobimo, če od entalpije na posameznem mestu odštejemo entalpijo kondenzirane vode, ki se vrača v kotel.

$\Delta i_{i\text{ razp}} = i_{i\text{ razp}} - i_{2\text{ razp}} = i_1 - i_2$ je entalpija, porabljena v visokotlačnem delu za produkcijo toka.

Stanje pare (p , T) na mestih 1, 2 in 3 merimo z instrumenti. Iz vsakega kg odjemne pare porablamo 106,8 kcal eksergije za proizvodnjo električne energije, 244,1 kcal eksergije pa stavljamo na razpolago za gretje. Iz pretočne pare porablamo skoraj vso eksergijo za proizvodnjo električne energije; od 350,9 kcal se izgublja le 25,3 kcal eksergije v kondenzatorju. Pretok eksergije v eni uri skozi turbino se vidi na sliki 2. Tu vidimo, da oteka z odjemno paro 39,7% celotne eksergije; ostalih 60,3% pa se porabi za električno energijo v visokotlačnem in nizkotlačnem delu ter za izgube v kondenzatorju. Ker je za izgube v kondenzatorju odgovorna konstrukcija nizkotlačnega dela turbine, kjer se para ne ohladi na temperaturo okolice, obremenjujejo seveda te izgube električno energijo.



SI. 2.



SI. 3.

Potemtakem se delijo stroški za svežo kotlovsko paro na proizvodnjo toka in na kurilno odjemno paro v razmerju 0,603 in 0,397; z drugimi besedami: od 140 t/h sveže pare zaračunamo kurjavi 55,64 t/h, toku pa 84,36 t/h. Ker imamo 80 t kurilne pare/h, je vrednost 1 t kurilne pare enaka vrednosti 0,70 t kotlovske pare. Za proizvodnjo 1 kWh pa smo porabili $84,360 : 25800 = 3,27$ kg sveže pare.

Na sliki 2 je izvršena podelitev porabe eksergije za električni tok na odjemno in na pretočno paro. Poraba je praktično enaka za električno energijo iz odjemne in iz pretočne pare; oba dela sta energetično enako vredna, kar je logično.

Pretok energij, ki je podlaga staremu nepravilnemu obračunavanju, je narisano na sliki 3. Iz vsakega kg pretočne pare odvajamo pri pretoku skozi visokotlačni del 92,0 kcal energije, v gretje gre pa 699,0 kcal. Od razpoložljive entalpije 791,0 kcal/kg odvajamo pri pretoku skozi celotno turbino 266,0 kcal, ostalih 525,0 kcal gre pa kot »izguba« v kondenzator. V kurilni pari je torej 50,46% dovedene energije, ostalih 49,54% je porabljenih za proizvodnjo toka in za »izgube« v kondenzatorju. Izgube v kondenzatorju zaračunamo iz istih razlogov kakor prej električni energiji. Stroški za svežo kotlovsko paro se torej delijo v razmerju 0,5046 in 0,4954 na odjemno paro in električno energijo. Od 140 t/h sveže pare zaračunamo kurjavi 70,68 t/h in toku 69,32 t/h. 1 t kurilne pare naj bi torej imela vrednost 0,884 t kotlovske pare; za 1 kWh pa zaračunamo $69320 : 25800 = 2,69$ kg sveže pare. Pri tem nepravilnem načinu obračunavanja smo podražili odjemno paro za 29,5% in seveda pocenili električni tok. Domišljujemo si, da v taki napravi proizvajamo tok posebno poceni in gospodarstveno.

Na sliki 3 je izvršena tudi podelitev porabe energij za električni tok iz odjemne in pretočne pare. Tu pridemo do paradoksa, da je tok iz odjemne pare na moč poceni, ker porabimo za njega le 905 kcal/kWh, medtem ko pretočna para v istem stroju proizvaja tok za ceno 2688 kcal/kWh, to pa morda zaradi tega, ker so z njo zvezane »velike izgube« v kondenzatorju. Rešitev paradoksa pa je v tem, da ima toplota, ki jo kakor smetano z mleka posnamemo s pare v visokotlačnem delu, zaradi svojega temperaturnega nivoja veliko eksergijo ali zmožnost opravljanja dela; toplota pa, ki gre v kondenzator ob zelo nizki temperaturi, nima praktično v sebi nobene delozmožnosti ali eksergije več in se torej ne sme in ne more nikomur zaračunavati.

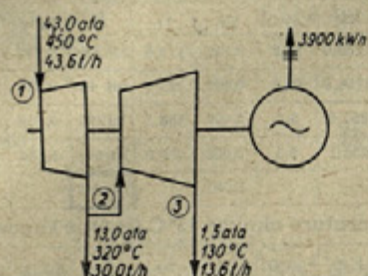
V razpredelnici 2 so naši rezultati pregledno sestavljeni:

Razpredelnica 2

		Para		Električna energija		
		sveža	odjemna	iz odjemne pare	iz pretočne pare	skupaj
Količina		t/h	80,0			
		MWh/h		8,14	17,66	25,80
eksergija		Gcal/h	49,1	19,51	8,54	29,59
razp. entalpija		Gcal/h	110,7	55,91	7,39	54,79
obračun sveže pare	po eksergiji	%	100,0	39,74	17,39	60,26
	(po energiji)		100,0	50,46	6,64	49,54
	po eksergiji	t pare/h	140,0	55,64	24,36	84,36
	(po energiji)		140,0	70,68	9,32	69,32
	po eksergiji	kg pare/kWh		2,993	3,397	3,269
		(po energiji)		1,145	3,392	2,690

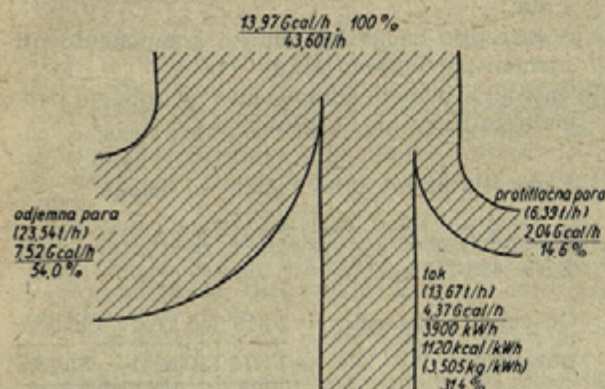
TOPLARNA TOVARNE SODE LUKAVAC

Shema naprave je narisana na sliki 4. Turbina ima pri 13,0 ata odjem pare, ki se rabi za kemični proces; protitlačna para tlaka 1,5 ata se ravno tako uporablja v proizvodnji.

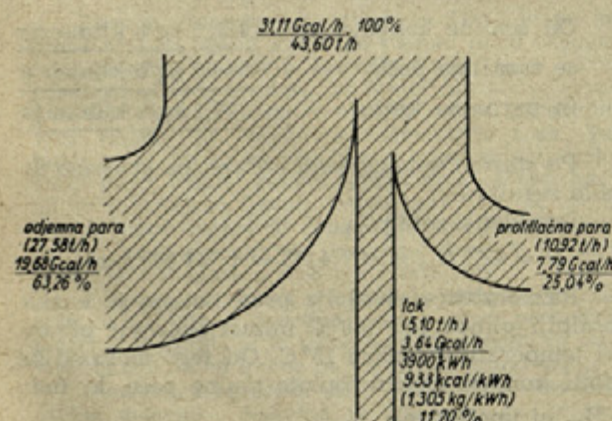


Sl. 4.

Na sliki 5 vidimo diagram toka eksergij in na sliki 6 diagram toka energij. Obračunavanje stroškov sveže pare na odjemno in protitlačno paro ter na električno energijo izvedemo po istih mislih kakor v prvem primeru. Rezultati so sestavljeni v razpredelnici 3 in 4, ki ustrezata razpredelnici 1 in 2.



Sl. 5.



Sl. 6

Razpredelnica 3

Mesto	1	2	3
i_i kcal/kg	793,5	735,9	652,7
s_i kcal/kg °K	1,648	1,687	1,748
i_o kcal/kg		15,0	
T_o °K		288,0	
ex_i kcal/kg	319,5	250,6	149,8
Δex kcal/kg		68,9	
		100,8	
i_{nap} kcal/kg		80,0	
$i_{i\ razp}$ kcal/kg	713,5	655,9	572,7
Δi_{razp} kcal/kg		57,6	
		83,2	

Razpredelnica 4

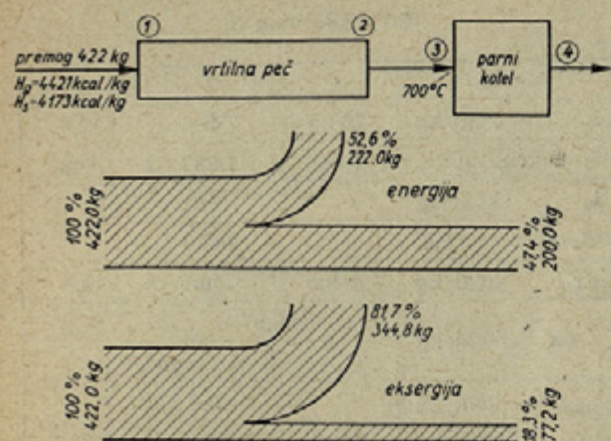
		pare			el.
		sveža	od-jemna	proti-tlačna	ener-gija
Količina	t/h MWh/h	43,6	30,0	13,6	3,90
eksergija	Gcal/h	13,93	7,52	2,04	4,37
razp. entalpija	Gcal/h	31,11	19,68	7,79	3,64
obračun sveže pare	po eksergiji	100,0	53,98	14,65	31,37
	(po energiji) %	100,0	63,26	25,04	11,70
	po eksergiji	43,6	23,54	6,39	13,67
	t pare/h	43,6	27,58	10,92	5,10
	(po energiji)				
	po eksergiji				3,505
	kg pare/kWh				1,308

Tudi ta primer kaže, da pri obračunavanju s pomočjo porabljenih entalpij previsoko vrednotimo odjemno paro, predvsem pa protitlačno paro, ker obračunavamo veliko vredno toploto, ki jo pari odvajamo za produkcijo električne energije, z enako vrednostjo kakor nizkotemperaturno in zaradi tega malo vredno toploto v ogrevnih parah.

TOVARNA CEMENTA »10 KOLOVOZ« SPLIT

Premog se kuri v vrtilni peči (sl. 7); iz surovine, ki se premika v protitoku z gorilnimi plini, se izženeta CO_2 in H_2O , s čimer se povečuje količina plinov v peči. Ker je peč razmeroma kratka, izstopajo plini iz nje s precejšnjo temperaturo. Izstopna (»odpadna«) energija plinov se nato izkorišča v parnem kotlu. Na poti med pečo in parnim kotlom doteka v pline škodljivi zrak skozi netesna mesta.

Parnemu kotlu moramo zaračunati vso eksergijo, ki mu jo dovajamo s plini (mesto 3); žganju cementnega klinkerja pa zaračunavamo eksergijo



Sl. 7.

premoga, zmanjšano za eksergijo v plinih na vstopu v parni kotel. Ta eksergija je deloma porabljena za žganje klinkerja, deloma pa zapravljen v peči in na poti med pečo in kotlom. Ustrezne račune bom v naslednjem razložil in primerjal rezultate z rezultati stare metode obračunavanja po porabljenih energijah.

Vse veličine bomo računali za 1 t proizvedenega klinkerja.

Eksergijo trdnega goriva lahko vzamemo v prvi približnosti za 0,5 % večjo od gornje kurilne vrednosti.

$$H_g = 4421 \text{ kcal/kg}$$

$$ex_g = 4443 \text{ kcal/kg}$$

$$Ex_g = 422 \cdot 4443 = 2\,319\,246 \text{ kcal/t klinkerja.}$$

Za izračunanje eksergije dimnih plinov pred kotlom potrebujemo sestavo teh plinov; sestavo dobimo iz Orsatove analize, iz analize premoga in surovine za klinker. Sestavo plinov daje razpredelnica 5.

Razpredelnica 5

	% vol	Nm ³	kg
CO ₂	19,5	649,0	1285,0
N ₂	66,4	2207,8	2759,0
O ₂	5,3	175,9	251,5
Σ		3032,7	4296,3
H ₂ O	8,8	291,4	233,1
Σ	100,0	3324,1	4529,4
T = 700° C p ≈ 1,0 ata			

Za to plinsko mešanico poiščemo iz tabel ustrezne entalpije in entropije za vsako posamezno komponento, pri čemer upoštevamo, da se morajo entropije za tlak 1 ata preračunati na parcialni tlak posamezne komponente. Parcialni tlak komponente znaša toliko odstotkov od celotnega tlaka, kolikor prostornih odstotkov pripada komponenti. Korektura entropije

$$\Delta s_p = -R \ln p_i/p$$

p_i je parcialni tlak komponente, p je celotni tlak. Ti podatki so zbrani v razpredelnici 6.

Razpredelnica 6

Za temperaturo 700° C								
	kg	%vol	p_i	t_i	I_i	$s_{i,1at}$	s_{i,p_i}	S_i
CO ₂	1285,0	19,5	0,195	179,5	230 653	0,313	0,337	497,30
N ₂	2759,0	66,4	0,664	181,7	501 453	0,322	0,351	968,69
O ₂	251,5	5,3	0,053	168,1	42 278	0,299	0,482	121,22
H ₂ O	233,1	8,8	0,088	938,0	118 643	2,234	2,501	582,98
Σ			1,000		993 040			2170,2
Za temperaturo okolice 15° C (H ₂ O je kondenziran)								
	kg	%vol	p_i	t_i	I_i	$s_{i,1at}$	s_{i,p_i}	S_i
CO ₂	1285,0	21,4	0,214	2,93	3 829	0,010	0,080	102,88
N ₂	2759,0	72,8	0,728	3,72	10 266	0,013	0,036	99,35
O ₂	251,5	5,8	0,058	3,06	770	0,011	0,188	47,28
H ₂ O	233,1	0,0		15,00	3 497	0,054	0,054	12,59
Σ					18 362			262,02

p_i je parcialni tlak [kp/cm²]

i je entalpija enega kg plinske komponente

I je entalpija plinske komponente na 1 t klinkerja

$s_{i,1at}$ je entropija enega kg plinske komponente pri 1 ata

s_{i,p_i} je entropija enega kg plinske komponente pri njenem parcialnem tlaku

S je entropija plinske komponente pri njenem parcialnem tlaku na 1 t klinkerja.

Eksergija plinov pred kotlom se določi:

$$Ex = \Sigma I_i - \Sigma I_o - T_o (\Sigma S_i - \Sigma S_o)$$

$$Ex = 425\,116 \text{ kcal/kg}$$

Od celotne eksergije	2 319 246 kcal	100,0 %
porabi peč	1 894 130 kcal	81,7 %
dobi parni kotel	425 116 kcal	18,3 %

V istem razmerju se tudi obračuna premog:

Od celotne količine	422,0 kg/t klinkerja
se zaračuna peči	344,8 kg/t klinkerja
in parnemu kotlu	77,2 kg/t klinkerja

Po starem entalpijskem računu pa pridemo do tehle rezultatov:

Dovedena entalpija

$$I_d = 422 \cdot H_{sp} = 422 \cdot 4173 = 1\,761\,000 \text{ kcal}$$

Razpoložljiva entalpija pred kotlom je enaka entalpiji plinov pri 700° C minus entalpiji plinov pri temperaturi okolice 15° C. Od tega moramo še odbiti kondenzacijsko toploto vodne pare, ki tudi v H_{sp} ni upoštevana

$$I_{3,rasp} = 993\,040 - 18\,362 - 233,1 \cdot 600 \approx 834\,800 \text{ kcal/t klinkerja.}$$

Od celotne entalpije	1 761 000 kcal	100,0 %
porabi peč	926 200 kcal	52,6 %
dobi parni kotel	834 800 kcal	47,4 %

V istem razmerju obračunani premog dobimo:

od celotne količine	422,0 kg/t klinkerja
na račun peči	222,0 kg/t klinkerja
na račun kotla	200,0 kg/t klinkerja

Vidimo, da obračunavamo tako kotlu manj vredno nizkotemperaturno energijo previsoko.

Iz teh primerov je razvidno, da obračunavanje eksurgije ne dela posebnih težav in obračunavanje po principu energije brez njenega vrednotenja dojava do velikih in ne zanemarljivih napak.

Avtor: prof. dr. ing. Zoran Rant, Oddelek za strojništvo Tehniške fakultete v Ljubljani.

DK 667.64:621

Barve v strojništvu

BORIS ČERNIGOJ

1. BARVA STROJEV

Stroje so v začetku barvali črno in tako je bila ta barva v Nemčiji l. 1927 sprejeta kot standard — prvi te vrste sploh. Na pobudo proizvajalcev obdelovalnih strojev pa so pozneje začeli študirati, katera barva bi vrh tega, da bi ustrezala vsem splošnim zahtevam (da je obstojna, enovita, ni kontrastna od umazanije po olju in odrezkih itd.), dajala delavnicam prijetnejši, svetlejši videz. Po skrbnih raziskavah so se l. 1937 odločili za modrikasto sivo barvo (DIN 1842). Ta barva je v nekaj letih osvojila vse mehansko tehnološke obrate in so jo začeli uporabljati tudi za druge vrste strojev, ki delajo v podobnih okoliščinah kot obdelovalni. Zato so po zadnji vojni v Nemčiji standardizirali uporabo modrikaste sive barve sploh za vse vrste strojev (DIN 1843).

V ZDA so izdali prvi standard za barvo strojev šele l. 1951, in sicer so se odločili za štiri odtenke sive barve, da bi bila izbira večja. V uvodu v ta standard pravijo, da je prostost v izbiri barve silila proizvajalce, da so morali imeti na zalogi tudi do sto različnih barv, če so hoteli ustrezati vsem zahtevam kupcev, kar je seveda z gospodarskega vidika povsem neopravičljivo.

Svica je standardizirala rjavkasto temnosivo barvo.

V zadnjem času se je v Nemčiji pojavila močna želja, da bi k sedanjemu enemu samemu odtenku sive barve standardizirali vsaj še en odtenek ali barvo. Zato je bil sprejet DIN 1844-55, ki določa odtenek zelene barve za stroje.

V splošnem kažejo razstave obdelovalnih, pa tudi drugih strojev, da je uporaba sive barve (seveda v najrazličnejših odtenkih) med vsemi najbolj razširjena.

Pri nas doslej še ni standarda za barvo obdelovalnih ali kakih drugih strojev.

2. BARVNA DINAMIKA

Barvna dinamika, ki izvira iz ZDA, je pri nas znana bolj po besedi kakor po vsebini in jo večinoma celo napačno razlagajo. Barvna dinamika je barvna ubranost celotne tovarne, pri čemer naj barve ustvarjajo delavcem prijetnejše okolje, večajo preglednost vseh naprav in olajšujejo vzdrževanje reda. Tako imajo n. pr. stroji vsi eno barvo (standardno!), delavniške mize, omare, police, ograje, skratka vse, kar je ali je bilo nekoč leseno, drugo barvo (n. pr. svetlorjavo), stene, stebri in drugi zidani deli tretjo barvo (n. pr. svetlozelenkasto), prevozniki žerjavi in druga notranja transportna sredstva četrto itd.

Povečana storilnost v tovarnah, preurejenih kakor opisano, je bila v precejšnji meri samo prehodnega pomena. Pripisati jo je treba bolj spremembi in obnovitvi okolja sploh kakor pa barvni dinamiki sami.

Popolnoma zgrešena pa je »dinamika«, ob kateri ostane delavnica, kakršna je bila, zato pa so stroji tembolj pisani. Z uporabo ene barve za osnovo strojev, druge n. pr. za električne naprave na njih, tretje za črpalke in vode za hidravliko itd. nastajajo za večino prehodnih obiskovalcev zelo prijetne barvne kombina-

cije. Razen te subjektivno pozitivne strani so vse ostale objektivno negativne. Pisanost neposredne okolice slabi delavcu koncentracijo pozornosti na delovno mesto. Večje število manjših količin barve draži proizvodnjo in vzdrževanje. Poudarjanje dopolnilnih delov stroja z različnimi barvami deluje vprav nasprotno prizadevanju konstrukterjev, ki se trudijo, da bi dosegli estetske oblike strojev s tem, da dopolnilne naprave čim bolj vključujejo v stroj in jih napravljajo neopazne.

3. VARNOSTNE BARVE

Prvi primer, ko je postala uporaba barv predmet splošnega mednarodnega dogovora, je bil letos spomladi, ko je ISO (mednarodna organizacija za standardizacijo) sprejela določene odtenke rdeče, oranžnorumene in zelene barve kot »varnostne barve«. Namen varnostnih barv je, da izzivajo tako refleksno reakcijo pri človeku, da se nesreči izogne ali jo vsaj zmanjša.

Rdeča barva se uporablja, kjer bi bila nesreča neizogibna, če svarila ne bi upoštevali. Ukazuje tedaj brezpogojno — ubogati. Primer: žarnice na železniških prelazih, znaki za nevarne snovi (radioaktivne, eksploziv itd.), gasilno orodje in priprave.

Oranžnorumena barva se uporablja, kjer se nevarnosti s pazljivostjo lahko izognemo. Ukazuje tedaj — previdnost. Primer: na prometna mesta štrleči deli strojev in naprav, odprti pokrovi menjalnikov ali luknj v tleh (ti so obarvani na notranji strani, da nas odprti opozarjajo).

Zelena barva se uporablja za zagotovilo, da nevarnosti ni. Primer: prehodi, ki so ob določenem času prosti, zasilni izhodi, osebne zaščitne in varnostne naprave, omare za prvo pomoč itd.

Da ne bi bilo zmešnjave zaradi različnih odtenkov zgornjih barv, jih je ISO določila kar z valovnimi dolžinami.

Poglavitno pravilo za uporabo varnostnih barv je, da te barve niso nobeno nadomestilo za ostale varnostne ukrepe ali naprave, temveč le njihovo dopolnilo. Treba je namreč upoštevati, da nekateri ljudje barv ne razločujejo in lahko barvo spremeni tudi razsvetljava.

Drugo pravilo je, da se uporaba varnostnih barv ne sme pretiravati, ker pretiravanje slabi refleks. To velja v večji meri za pretiravanje v velikosti posameznega opozorila kakor za pretiravanje v številu opozoril. Tako n. pr. naj ne bo oranžnorumen ves žerjav, temveč samo tisti njegovi deli, ki se gibljejo tam, kjer osebnega prometa ni mogoče prepovedati. Taki deli so predvsem škripci, odbijači ipd.

Obenem s določitvijo varnostnih barv so sprejeli tudi dve priporočili za izvedbo opozoril z njimi.

Prvo priporočilo je, naj se te barve uporabljajo tako, da padajo v oči. Če že sama okolica ni taka, da bi ustvarjala dovolj kontrasta, ga je treba napravljati z uporabo »kontrastnih barv«, ki so za rdečo in zeleno bela, za oranžnorumeno pa črna. Najbolje je uporabljati varnostno in njej kontrastno barvo v izmeničnih pasovih.