

Uporaba logističnih krivulj za dolgoročno planiranje energije v črni metalurgiji

UDK: 620.98
ASM/SLA: W 11 g

J. Bratina, G. Kacl, D. Vodeb

Energija v črni metalurgiji kaže trend začetnega, dokaj hitrega dviga in doseže svojo največjo rast. Nato se rast razvoja polagoma umiri in se bliža meji nasičenosti. Ta karakteristika časovnega opazovanja določenega pojava popolnoma ustreza logističnemu zakonu, kar smemo uporabiti za boljše napovedovanje pojavov v bodočnosti. Uporabljena metoda s pomočjo S-krivulj, ki je matematična formulacija logističnega zakona, je mnogo natančnejša od klasičnih metod linearnega napovedovanja, saj se upošteva naš dosedanji razvoj. Istočasno dobimo mejo nasičenosti opazovanega pojava za podatke o obstoječem stanju in naraven potek dela. To je osnova za dolgoročno planiranje osnovnih proizvodnih energetske kapacitete v sredini, za katero se izvaja analiza bodočega razvoja. Na osnovi več pokazateljev, ki se obnašajo po logističnem zakonu, je možno napovedati optimalno porabo energije glede na naraven trend rasti proizvodnje in zaposlovanja kot najpomembnejših pokazateljev našega nadaljnjega razvoja.

1. UVOD

Svetovni razvoj energetike zahteva od posameznih načrtovalcev dolgoročnih napovedi dogodkov vse natančnejše napovedovanje posameznih pojavov. Kriza in soočanje z vse večjimi omejitvenimi dejavniki zahteva od nas, da na področju planiranja uporabimo eksaktnije metode dela. Črna metalurgija kot energetska ekstenzivna industrijska panoga ima na področju energetike posebno mesto in vlogo. Ker sta obe področji tesno odvisni drugo od drugega, je nujno spoznati, kakšne so možnosti razvoja črne metalurgije, gledano z razvoja energetike.

V črni metalurgiji je energija potreben člen, ki nam omogoča izvedbo tehnoloških procesov. Istočasno pa nam z nastopom energetskih kriz vse

bolj draži proizvodnjo, v določenih obdobjih nam jo tudi prekinja, ker energije ni. Z osnovnim vprašanjem, kako se bo energija razvijala v črni metalurgiji, se ukvarja vse več strokovnjakov, ki iščejo optimalne poti rešitve glede na širši družbeni interes. Osnovna naloga, ki jo moramo rešiti, je poiskati čim realnejšo rast porabe energije v črni metalurgiji. Na osnovi poznavanja naravnega razvoja določene dejavnosti lahko sklepamo, kaj moramo ukreniti, da bomo pravočasno sanirali neugodno energetska situacija. To nalogo moramo začeti čim prej, kajti zamujena akcija bo še težje rešljiva.

V matematičnem smislu obstaja več različnih metod napovedovanja, od najpreprostejšega linearnega napovedovanja do zahtevnih stohastičnih metod. V delu se bomo omejili na logistični zakon napovedovanja rasti določenega pojava. Logistični zakon je definiran z naslednjimi zahtevami:

- pojav z večanjem časovne vrste doseže določeno stopnjo nasičenosti,
- pojav v svojem razvoju časovne vrste doseže svojo največjo rast,
- pojav stalno narašča.

Te formulacije bomo matematično izrazili s pomočjo S-krivulj.^{1,2}

Pri obdelavi bomo najprej razčlenili matematične formulacije logističnega zakona in njeno matematično izpeljavo. Nato bomo za opazovanje časovne vrste pojava s področja energetike izdelali matematičen model, na osnovi katerega bomo ugotovili:

- ali časovna karakteristika pojava ustreza formulaciji logističnega zakona,
- določili parametre enačbe S-krivulje,
- ustrezno komentirali bodoči razvoj energetike.

Aplikacijo uporabe izdelanega modela bomo izvedli po podatkih za Železarno Ravne. Na osnovi dobljenih vrednosti bomo izdelali analizo bodočega stanja. Glavni rezultat dela bo dolgoročna napoved porabe energije, tako da bomo dosegli njeno najučinkovitejšo izrabo glede na naravno rast proizvodnje v železarni.

J. Bratina, dipl. inž. el. je ravnatelj TOZD elektrotehniške storitve
G. Kacl, magister marketinga, prof., je predsednik poslovnega odbora
D. Vodeb, magister, dipl. inž. strojništva je vodja oddelka za razvoj energetike
vsi v Železarni Ravne

2. FORMULACIJA LOGISTIČNE KRIVULJE

Za določitev parametrov logistične krivulje izhajamo iz podatkov v preteklosti, ki jih podaljšamo po določeni zakonitosti v prihodnost. To utemeljujemo s tem, da veliko pojavov sledi vrednostim, ki jih dobimo na osnovi njegove zgodovine. Preden opravimo analizo, moramo ugotoviti, ali bo pojav tudi v bodočnosti podrejen približno enakim dinamičnim vplivom kot doslej ali pa bo doživel kakšno bistveno spremembo.

S-krivulja se je pokazala zelo primerna za obravnavo ekonomskih pojavov in za napovedovanje razvoja na določenih drugih področjih. S pomočjo S-krivulje bomo dobili oceno, kako se bo časovno razvijal pojav v nekem intervalu. Interval se izbere smiselno glede na naravo dela od 5 let do dolgoročnega planiranja 20 in več let. Dobljene vrednosti nam dajo le kakovostni razvoj opazovanega pojava, vedno pa bomo pojav obravnavali v pasu med optimistično in pesimistično napovedjo bodočega trenda.

Matematično moramo na osnovi časovne vrste določenega pojava določiti krivuljo, ki bo ustrezala naslednjim zahtevam, da

- ima svoj maksimum,
- ima prevoj.
- stalno raste.

Določiti moramo funkcijo $Y = f(t)$ v časovnem intervalu $(t, t + dt)$, ki ima naslednje lastnosti: Limito, izraženo z enačbo:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = a \tag{1}$$

kar pomeni, da ima asiptoto, ki se ji približuje, ko čas narašča preko vsake meje. Druga lastnost je določena z zvezo

$$f''(t) = 0 \tag{2}$$

katere rešitev nam definira točko prevoja. V tej točki je rast S-krivulje največja, kar pomeni, da ima tu opazovani dogodek svoj največji razvojni trend. Zadnja lastnost, kateri mora ustrezati krivulja $Y = f(t)$ je, da stalno narašča, kar izrazimo z zvezo

$$f'(t) > 0 \text{ in } \frac{f'(t)}{f(t)} > 0 \tag{3}$$

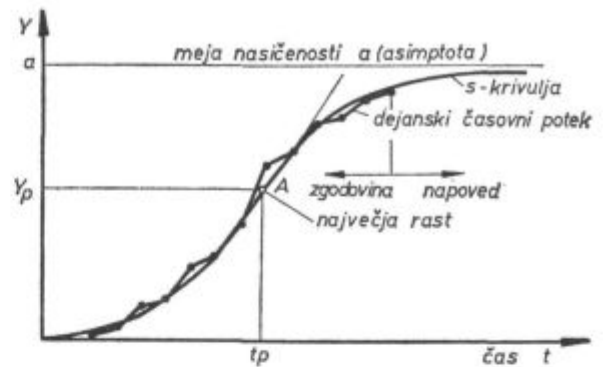
Tem trem karakteristikam ustrezajo S-krivulje, katere potek prikažemo na sliki 1.

Osnovno enačbo za logistično krivuljo dobimo tako, da enačbi za eksponencialno rast dodamo poseben člen. Namen tega člena je, da nam eksponencialno rast, ki raste v neskončnost, duši. V splošni obliki to zapišemo:

$$\frac{dy}{dt} = ay - g(y) \text{ pogoj } g(y) > 0 \tag{4}$$

Za pozitiven dušilni člen osnovne enačbe lahko izberemo poljubno obliko, najbolj uporabljiva je formulacija

$$g(y) = ky^2, \tag{5}$$



Slika 1
Prikaz S-krivulje
Fig. 1
Presentation of S-curve

iz katere dobimo naslednjo diferencialno enačbo

$$\frac{dy}{dt} = ky(a - y) \tag{6}$$

Rešitev enačbe (6) se glasi

$$y = f(t) = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot t}} \tag{7}$$

kar je osnovna enačba S-krivulje. Za analizo dogodkov po tej enačbi moramo določiti še koordinate prevojne točke. To dobimo tako, da enačbo (7) dvakrat odvajamo in rešimo enačbo (3).

Rešitev je

$$y_p = \frac{a}{2}; t_p = \frac{\ln b}{|c|} \tag{8}$$

Naslednja naloga, ki jo moramo rešiti, je, da iz časovne vrste dogodka

$$y_i, t = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n, \dots \tag{9}$$

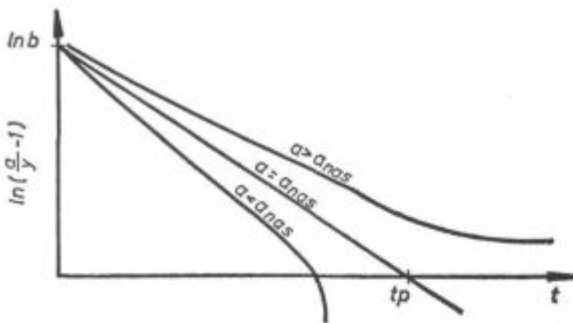
določimo parametre logistične krivulje in s tem enačbo (7). Možnosti je več. Uporabimo naslednjo. Logaritmiramo enačbo (7) in dobimo:

$$\ln b - c \cdot t = \ln \left(\frac{a}{y} - 1 \right) \tag{10}$$

Če za vsako vrednost iz časovne vrste dogodka po relaciji (9) izračunamo desno stran enačbe (10) in te vrednosti vrišemo v koordinatni sistem, vidimo, da morajo v primeru obnašanja opazovanega pojava po logističnem zakonu izračunane vrednosti ležati na premici, kar je razvidno z leve strani enačbe (10).

V primeru, da se pojav ne obnaša po logističnem zakonu, dobimo odstopanje od premice, kar prikažemo na sliki 2.

Ko poznamo mejo nasičenosti in ugotovitev, da se pojav obnaša po logističnem zakonu, moramo izračunati še koeficienta b in c enačbe (7). V ta namen uporabimo relacijo (10), desna stran je določena s časovno vrsto (9), koeficienta b in c pa izračunamo iz empiričnih podatkov po metodi najmanjših kvadratov.



Slika 2

Prikaz dogodkov v koordinatnem sistemu

Fig. 2

Presentation of phenomena in rectangular coordinates

V primeru, da pojav ne sledi logističnemu zakonu, moramo za tak pojav uporabiti kakšno drugo metodo napovedovanja pojavov v bodočnosti.

3. UPORABA MODELA ZA NAPOVED ENERGETSKE SLIKE ZA ZELEZARNO RAVNE

Železarna Ravne leži geografsko zunaj glavnih prometnih, energetskih in socialnih tokov v SR Sloveniji. Področje ima večstoletno tradicijo v fužinarstvu, tudi trenutna usmerjenost v proizvodnjo visokolegiranih jekel je posledica dolgega boja za obstanek. S predpostavkami, da imamo pred sabo področje, ki je

- zgodovinsko tradicionalno podprto,
- sledi svetovnemu razvoju na področju izdelave visoko kvalitetnih jekel, kontinuiteta razvoja osnovne panoge,

Tabela 1: Časovna vrsta za porabo električne energije in vrednosti za desno stran enačbe (10) za različne meje nasičenosti

| leto | poraba GWh | desna str. enačbe (10) za mejo nasičenosti | | | |
|------|------------|--|--------|--------|--------|
| | | 250 | 300 | 350 | 220 |
| 1965 | 95 | 0.490 | 0.769 | 0.987 | 0.274 |
| 1966 | 103 | 0.365 | 0.648 | 0.875 | 0.127 |
| 1967 | 101 | 0.389 | 0.678 | 0.902 | 0.164 |
| 1968 | 116 | 0.144 | 0.461 | 0.702 | -0.109 |
| 1969 | 142 | -0.274 | 0.107 | 0.382 | -0.599 |
| 1970 | 160 | -0.575 | -0.134 | 0.172 | -0.981 |
| 1971 | 174 | -0.828 | -0.324 | 0.011 | -1.330 |
| 1972 | 171 | -0.772 | -0.282 | 0.046 | -1.250 |
| 1973 | 185 | -1.046 | -0.475 | -0.114 | -1.665 |
| 1974 | 188 | -1.109 | -0.518 | -0.149 | -1.771 |
| 1975 | 196 | -1.289 | -0.634 | -0.241 | -2.100 |
| 1976 | 183 | -1.005 | -0.447 | -0.091 | -1.599 |
| 1977 | 201 | -1.411 | -0.708 | -0.299 | -2.359 |
| 1978 | 207 | -1.572 | -0.800 | -0.370 | -2.768 |
| 1979 | 211 | -1.688 | -0.863 | -0.417 | -3.155 |
| 1980 | 218 | -1.919 | -0.978 | -0.502 | -4.691 |

— uvaja sodobne, racionalne tehnološke postopke

— je prostorsko in kvantitativno omejena, lahko testiramo razviti model logističnega razvoja energetike za našo železarno. K takemu pristopu nas je prisililo tudi dejstvo, da ne moremo več uporabiti klasičnih metod planiranja za napovedi razvoja, ker se s proizvodnjo in energetsko porabo počasi bližamo določeni meji nasičenosti.

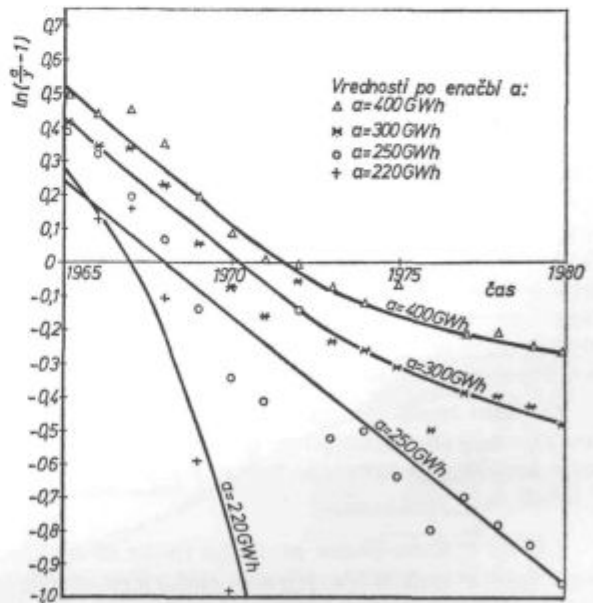
Model bomo podrobneje obdelali glede porabe električne energije, za ostale energetske medije in proizvodnjo bomo prikazali samo končne rezultate z ustreznim komentarjem. Časovna vrsta porabe električne energije je v tabeli 1, istočasno je že izračunana desna stran enačbe (10) za različne meje nasičenosti.³

Preizkus obnašanja časovne vrste po logističnem zakonu prikažemo na osnovi podatkov iz tabele 1 na diagramu na sliki 3.

Po metodi najmanjših kvadratov izračunamo za različne meje nasičenosti koeficiente enačbe (7) b in c in jih prikažemo v tabeli 2.

Tabela 2: Koeficienti enačbe (7) za različne meje nasičenosti. Enačbe veljajo za časovni interval od 1945 do 2010.

| meja nasičenosti | | |
|------------------|----------|-----------|
| a | c | b |
| 220 | 1840280 | -0.217714 |
| 250 | 49020.80 | -0.158615 |
| 300 | 3972.57 | -0.117323 |



Slika 3

Obnašanje časovne vrste porabe električne energije za različne meje nasičenosti

Fig. 3

Behaviour of time series of electric energy consumption for various saturation limits

Enačba (7) se za mejo nasičenosti 250 GWh električne energije glasi:

$$E = \frac{250}{1 + 490020.8 \cdot e^{-0,158615 (t - 1900)}} \quad (11)$$

kjer je t/leto v veljavnem časovnem intervalu.

V tabeli 3 je izračunana letna poraba električne energije za posamezne meje nasičenosti in v časovnem intervalu od leta 1965 do 1995.

Vrednosti iz tabele 3 prikažemo na sliki 4.

Tabela 3: Izračunane vrednosti letne porabljene električne energije za časovni interval od 1965 do 1995 in različne meje nasičenosti.

| leto | dejanska meja nasičenosti (GWh) | | | |
|------|---------------------------------|-----|-----|-----|
| | GWh | 220 | 250 | 300 |
| 1965 | 95 | 95 | 95 | 102 |
| 1966 | 103 | 107 | 104 | 110 |
| 1967 | 101 | 119 | 114 | 118 |
| 1968 | 116 | 131 | 124 | 127 |
| 1969 | 142 | 142 | 137 | 136 |
| 1970 | 160 | 152 | 144 | 144 |
| 1971 | 174 | 162 | 153 | 153 |
| 1972 | 171 | 171 | 163 | 162 |
| 1973 | 185 | 179 | 171 | 171 |
| 1974 | 188 | 186 | 180 | 179 |
| 1975 | 196 | 191 | 187 | 188 |
| 1976 | 183 | 196 | 195 | 196 |
| 1977 | 201 | 201 | 201 | 204 |
| 1978 | 207 | 204 | 207 | 211 |
| 1979 | 211 | 207 | 212 | 218 |
| 1980 | 218 | 209 | 217 | 225 |
| 1981 | | 211 | 221 | 231 |
| 1982 | | 213 | 225 | 237 |
| 1983 | | 214 | 229 | 243 |
| 1984 | | 215 | 231 | 248 |
| 1985 | | 216 | 234 | 253 |
| 1986 | | 217 | 236 | 258 |
| 1978 | | 218 | 238 | 262 |
| 1988 | | 218 | 240 | 265 |
| 1989 | | 218 | 241 | 269 |
| 1990 | | 219 | 242 | 272 |
| 1991 | | 219 | 244 | 275 |
| 1992 | | 219 | 244 | 277 |
| 1993 | | 219 | 245 | 280 |
| 1994 | | 219 | 246 | 282 |
| 1995 | | 219 | 247 | 284 |

Za čim realnejšo napoved porabe električne energije moramo določiti po enačbah (8) za različne meje nasičenosti prevojno točko. Podatki so zbrani v tabeli 4.

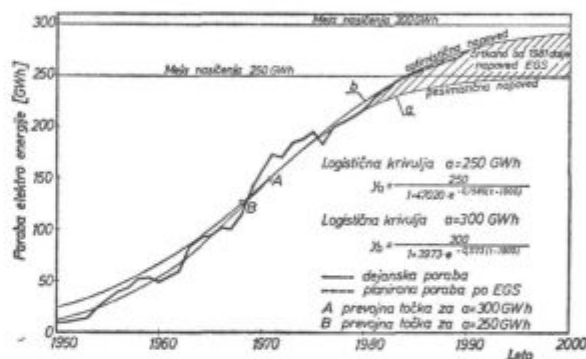
Tabela 4: Koordinate prevojne točke za različne meje nasičenosti letne porabe električne energije

| meja nasičenosti a (GWh) | GWh | t _p (leto) |
|--------------------------|-----|-----------------------|
| 220 | 110 | 1966 + 3 mes |
| 250 | 125 | 1968 + 1 mes |
| 300 | 150 | 1970 + 7 mes |

Prevojne točke za posamezne meje nasičenosti so vrisane na sliki 3. Najboljšo napoved za nadaljnih deset let nam da meja nasičenosti 250 GWh, zaključek slike 3, ko se nam desna stran enačbe najbolj prilega premici, ker je s tem zagotovljeno obnašanje električne energije po logističnem zakonu. Koordinate prevojnih točk nam samo potrjujejo ugotovljeno dejstvo in dobro ujemanje z znanimi podatki. Iz tega sledi najkvalitetnejša napoved dolgoročne letne porabe električne energije do leta 2000, pri meji nasičenosti 250 GWh.

V nadaljevanju prikažemo samo rezultate v obliki diagrama za naslednje parametre, letno porabo:

- tekočih in plinastih goriv slika 5
- kisika slika 6
- pare slika 7
- let. proizv. jekla slika 8
- štev. zaposlenih slika 9

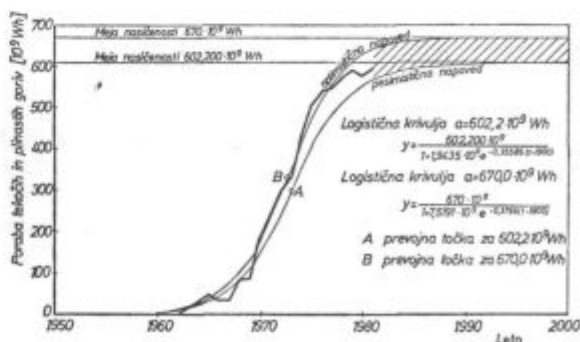


Slika 4

Diagram letne porabe elektro energije za različne meje nasičenosti in časovni interval od leta 1950 do 2000

Fig. 4

Diagrams of electric energy consumption per year for various saturation limits and the time interval 1950—2000

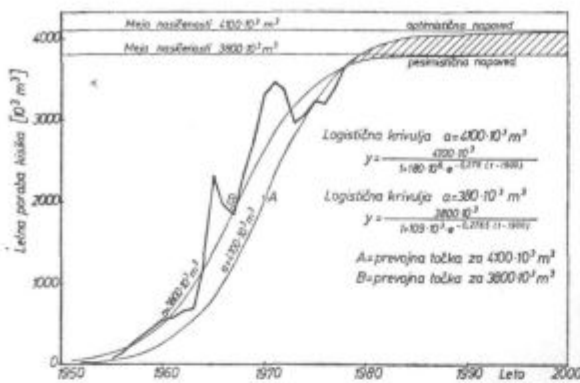


Slika 5

Poraba tekočih in plinastih goriv za različne meje nasičenosti in časovni interval od leta 1950 do 2000

Fig. 5

Consumption of liquid and gaseous fuels for various saturation limits and the time interval 1950—2000



Slika 6
Poraba kisika za obdobje od leta 1950 do 2000
Fig. 6
Oxygen consumption for the period 1950—2000

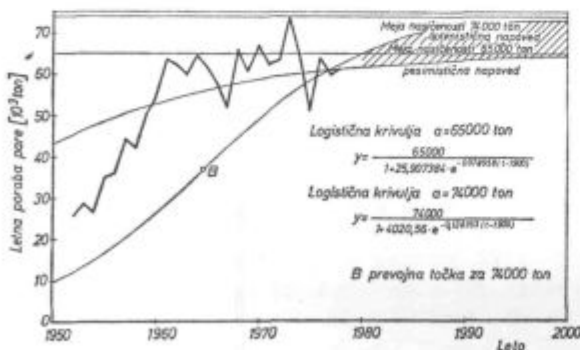
S slik je razvidno, da lahko ločimo procese, ki imajo umirjeno časovno vrsto, prikazana je električna energija na sliki 4, proizvodnja jekla, slika 8, in rast števila zaposlenih, slika 9.

Na sliki 6 — poraba kisika in sliki 7 — poraba pare, imamo opravka s čistima tehnološkima medijema, ki sta s svojo porabo zelo blizu meje nasičenosti. Toplotna energije, slika 5, vključuje tehnološki del energije in energijo za ogrevanje, pridobljeno samo iz mazuta in plinskih goriv. Ta je podvržena skokovitemu porastu in hitremu umirjanju, ker smo že blizu meje nasičenosti, glede na možnost nadaljnjega odvzema.

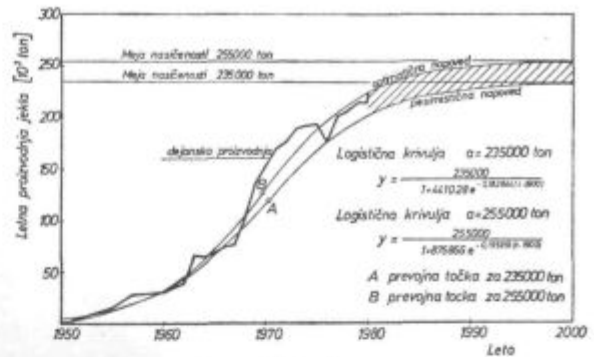
Vse tri časovne vrste je bilo možno zajeti z logističnim zakonom.

4. ANALIZA PORABE ENERGIJE ZA ZELEZARNO RAVNE

Med najpomembnejšimi napovedmi za železarno Ravne so proizvodnja jekla, poraba elektro energije in poraba tekočih ter plinastih goriv. Napoved porabe kisika, pare in števila zaposlenih je zanimiva kot primer uporabe logističnega zakona za določene industrijske napovedi.



Slika 7
Poraba pare za obdobje od leta 1950 do 2000
Fig. 7
Steam consumption for the period 1950—2000



Slika 8
Proizvodnja jekla za obdobje od leta 1950 do 2000
Fig. 8
Steel production for the period 1950—2000

Za električno energijo smo določili dve meji nasičenosti: 250 GWh in 300 GWh. Najbolj se logističnemu zakonu prilega napoved z mejo nasičenosti 250 MWh. Za nadaljnje računanje bomo uporabili 300 GWh.

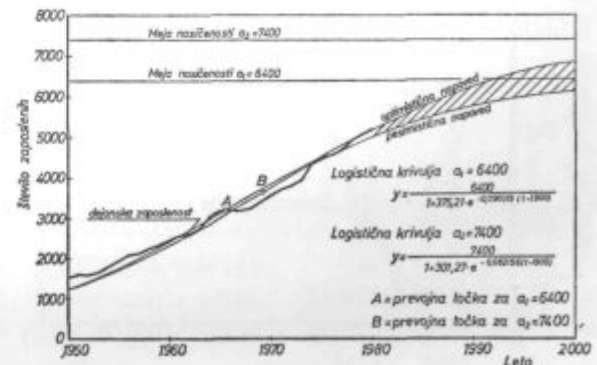
Za proizvodnjo jekla je meja nasičenosti jekla 255.000 ton in je razvidna s slike 8, za tekoča in plinasta goriva vzamemo $670 \cdot 10^6$ Wh, ker se prevojna točka za to krivuljo najbolj ujema z dejansko največjo rastjo.

Za tipična tehnološka porabnika, kisik in paro, smo vzeli za kisik mejo nasičenosti 3800×10^3 m³ in paro 74000 ton letne porabe ter 7400 zaposlenih za mejo nasičenosti za število zaposlenih.

Obe ostali meji nasičenosti, na sliki 7 za paro in sliki 6 za kisik, sta izbrani ena previsoko, druga prenizko.

Na osnovi znanih podatkov imamo za leto 1975 in 1980 naslednje specifične porabe, oziroma pokazatelje, ki so prikazani v tabeli 5.

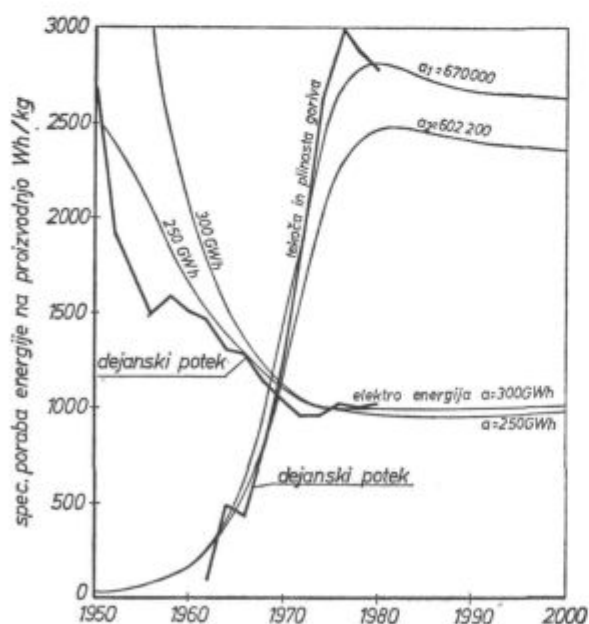
V naslednji tabeli prikažemo analizo energetske slike po scenariju logistične krivulje za leta 1985, 1990 in 1995.



Slika 9
Rast števila zaposlenih za obdobje od leta 1950 do 2000
Fig. 9
Growth of number of employees in the period 1950—2000

Tabela 5: Specifične porabe in ostali pokazatelji za leto 1975 in 1980 na osnovi dejanskih vrednosti in rezultatov enačb za ugotovljene meje nasičenosti posameznih parametrov.

| zap. šte. | podatek | enota | 1980 | | 1975 | |
|-----------|----------------------|--------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|
| | | | dejanska | po enačbi | dejanska | po enačbi |
| 1 | električna energija | GWh | 196 | 188 | 218 | 225 |
| 2 | proizvodnja jekla | ton | 193656 | 186585 | 214421 | 224387 |
| 3 | tek. in plin. energ. | GWh | 541.7 | 476.9 | 598.0 | 631.1 |
| 4 | kisik | 10 ³ m ³ | 3230 | 3431 | 3415 | 3700 |
| 5 | pare | ton | 64775 | 58489 | 52500 | 64936 |
| 6 | skup. energ. (1 + 3) | GWh | 737.7 | 664.9 | 816.0 | 856.1 |
| 7 | štev. zaposlenih | zap | 4508 | 4524 | 5187 | 5207 |
| 8 | električna energija | kWh | 1.012 | 1.007 | 1.017 | 1.003 |
| 9 | proizvodnja jekla | ton | 2.797 | 2.556 | 2.789 | 2.813 |
| | tek. in plin. energ. | kWh | | | | |
| 10 | proizvodnja jekla | ton | 3.809 | 3.563 | 3.806 | 3.816 |
| | skupna energija | kWh | | | | |
| 11 | proizvodnja jekla | ton | 16.679 | 18.388 | 15.927 | 16.489 |
| | kisik | m ³ | | | | |
| 12 | proizvodnja jekla | ton | 334.5 | 313.47 | 244.8 | 289.4 |
| | para | kg | | | | |
| 13 | proizvodnja jekla | ton | 26.57 | 28.27 | 26.72 | 26.28 |
| | električna energ. | % | | | | |
| 14 | skupna energija | MWh | 43.48 | 41.56 | 42.03 | 43.21 |
| | električna energija | MWh | | | | |
| 15 | štev. zaposlenih | zap | 42.96 | 41.24 | 47.40 | 43.09 |
| | proizvodnja | ton | | | | |
| 16 | štev. zaposl. | zap | 120.16 | 105.42 | 132.18 | 121.20 |
| | tek. in plin. gor. | MWh | | | | |
| | štev. zaposlenih | zap | | | | |



Slika 10

Prikaz specifičnih pokazateljev za enoto proizvodnje

Fig. 10

Presentation of specific parameters per unit output

Pomemben podatek je prikaz specifičnih porab za nasičeno stanje obravnavanih pokazateljev.

Na slikah 10 in 11 prikažemo potek specifičnih porab, oziroma pokazateljev stanja za izračunana leta — mejo nasičenosti po podatkih iz tabele 5 in tabele 6.

Poleg specifičnih pokazateljev je zanimiva analiza največje rasti porabe določenega pojma v železarni Ravne. Električna energija in proizvodnja jekla sta svojo največjo rast dosegla v obdobju 1970—1971, kar se popolnoma ujema z dejanskimi podatki.

Tudi kisik, kot čisti energetski medij, sledi tej zakonitosti in ima svojo največjo rast okoli l. 1970. Zaposlovanje je bilo najbolj intenzivno po krizi leta 1965 in je največji trend doseglo okoli leta 1968. Toplotna energija ima svojo največjo rast v letih 1972—1973, ko smo predelali največ peči iz generatorskega plina na nova tekoča in plinasta goriva in začeli s toplifikacijo.

Za napoved strategije bodoče porabe je pomembno doseganje stanja nasičenosti. S tem ugotovimo, koliko imamo še proizvodnih in ekonomskih rezerv v naših napravah; prikaz je narejen v tabeli 7.

Tabela 6: Analiza energetske napovedi za leta 1985, 1990, 1995 in za mejo nasičenja za obravnavane pokazatelje

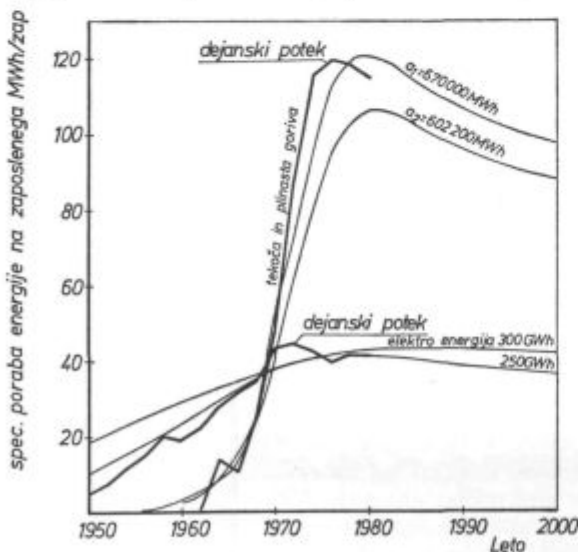
| zap. št. | podatek | enota | 1985 | 1990 | 1995 | meja nasičenja |
|----------|---|--------------------------------|--------|--------|--------|----------------|
| 1 | električna energija | GWh | 253 | 272 | 284 | 300 |
| 2 | proizv. jekla | ton | 242372 | 250190 | 253139 | 255000 |
| 3 | tek. in plin. goriva | GWh | 663.8 | 669.0 | 669.8 | 670.0 |
| 4 | kisik | 10 ³ m ³ | 3774 | 3794 | 3798 | 3800 |
| 5 | para | ton | 68935 | 71245 | 72524 | 74000 |
| 6 | skup. energija (1 + 3) | GWh | 916.8 | 941.0 | 953.8 | 970.0 |
| 7 | štev. zaposlenih | zap. | 5784 | 6243 | 6590 | 7400 |
| 8 | električna energija proizvodnja jekla | kWh ton | 1.044 | 1.087 | 1.122 | 1.176 |
| 9 | tek. in plin. goriva proizvodnja jekla | kWh ton | 2.958 | 2.674 | 2.646 | 2.627 |
| 10 | skupna energija proizvodnja jekla | kWh ton | 4.086 | 3.761 | 3.768 | 3.803 |
| 11 | kisik proizvodnja jekla | m ³ ton | 15.57 | 15.16 | 15.00 | 14.90 |
| 12 | para proizvodnja jekla | kg ton | 307.21 | 284.76 | 286.50 | 290.19 |
| 13 | električna energija skupna energija | % | 27.60 | 28.91 | 29.78 | 30.93 |
| 14 | električna energija štev. zaposlenih | kWh zap. | 43.74 | 43.57 | 43.09 | 40.54 |
| 15 | proizv. jekla štev. zaposlenih | ton zap. | 38.79 | 40.08 | 38.41 | 34.46 |
| 16 | tek. in plin. gor. štev. zaposlenih | MWh zap. | 114.76 | 107.16 | 101.64 | 90.54 |

Iz tabele 7 je razvidno, da smo dosegli pri kisiku, tekočih in plinastih gorivih ter skupni energiji že skoraj 90 % stopnjo nasičenosti, elek-

trična energija in proizvodnja sta svojo stopnjo nasičenosti dosegli okoli 80 %, medtem ko je poraba pare in zaposlovanja dosegla stopnjo nasičenosti okoli 70 %. Lahko ugotovimo, da smo v železarni glede na obstoječe naprave in dosednji razvoj že zelo izkoristili vse možnosti našega razvoja.

Tabela 7: Doseganje stopnje nasičenosti za posamezne pokazatelje razvoja energetike v železarni Ravne

| zap. št. | podatek | poraba leta 1980 | meja nasičenja | % doseganja | let do meje nasičenja |
|----------|----------------------|------------------|----------------|-------------|-----------------------|
| 1 | električna energija | 218 | 300 | 72.67 | 25 |
| 2 | proizvodnja jekla | 214421 | 255000 | 84.09 | 20 |
| 3 | tek. in plin. goriva | 598.0 | 670.0 | 89.25 | 10 |
| 4 | kisik | 3415 | 3800 | 89.87 | 10 |
| 5 | para | 52500 | 74000 | 70.95 | 10 |
| 6 | skupna energija | 806.0 | 970.0 | 83.01 | 10 |
| 7 | število zaposlenih | 5187 | 7400 | 70.09 | 25 |



Slika 11

Prikaz specifičnih pokazateljev na enoto zaposlenih

Fig. 11

Presentation of specific parameters per unit employee

Pospešena rast bo še okoli 10 let, nato pa bo železarna omejena z nadaljnim razvojem in bo prišla v stanje stagnacije, ker iz naprav ne bo možno več iztisniti, zaposlovanje novih delavcev pa ne bo več možno, kar je tudi realno glede na geografsko lokacijo železarne Ravne.

5. DOLGOROČNA OPTIMALNA PORABA ENERGIJE ZA ŽELEZARNO RAVNE

Dolgoročno optimalno porabo določimo iz analize porabe energije do l. 2000 in primerjalnih parametrov. Zaključki analize dosedanjega stanja in dolgoročne porabe energije so naslednji:

- energetske naprave so izkoriščene okoli 80 %,
- ugotoviti moramo optimalno specifično porabo energije na enoto proizvodnje,
- meja nasičenosti — ni nujno, da imamo najugodnejše specifične pokazatelje.

Naš nadaljni razvoj naj sledi osnovnemu pogoju, da proizvodnja jekla narašča po naravni zakonitosti logističnega zakona. Izhajamo iz logistične krivulje za proizvodnjo jekla, slika 8.

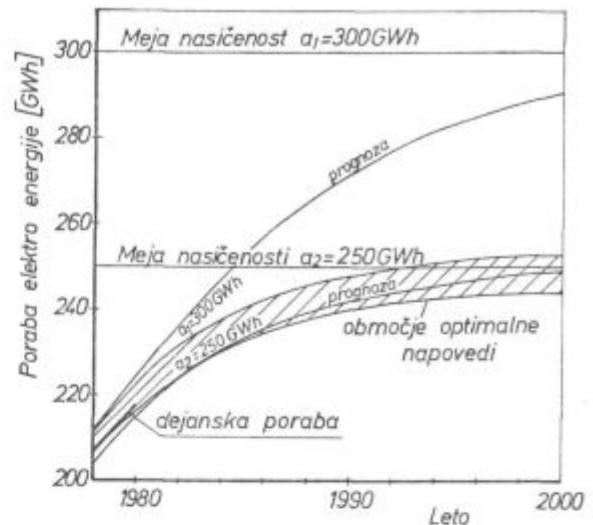
S slik 10 in 11 razberemo, da se nam specifična poraba časovno spreminja. Posebej nas zanima, kako planirati porabo električne energije in tekočih ter plinastih goriv pri pogoju, da bomo optimalno izkoristili dovedeno energijo. V železarni smo uvedli določene varčevalne ukrepe, vendar smo sedaj prišli v situacijo, da moramo začeti z večjimi investicijami za racionalno rabo dovedene energije.

V tabeli 8 prikazemo najugodnejše specifične pokazatelje, katere moramo v bodočnosti obdržati, da bomo optimalno izkoristili dovedeno energijo.

Dolgoročna poraba mora slediti definiranemu končnemu cilju. Za železarno Ravne je glavni cilj, da ne smemo dvigniti specifične porabe električne energije nad optimalno vrednost, ki bo dosežena leta 1984. Iz tega sledi, da moramo do leta 1984 pripraviti vse potrebno, da bomo dosegli zastavljeni cilj. Ukrepi energetskega varčevanja so med sabo vezani, zato tudi ostale optimalne specifične pokazatelje realiziramo do leta 1984. Na osnovi teh

Tabela 8: Najugodnejše specifične porabe energije za železarno Ravne

| zap. št. | specifični pokazatelj | enota | vrednost | opomba |
|----------|------------------------------------|-------|----------|-----------|
| 1 | električna energija proizvodnja | KWh | 0.995 | 300 GWh |
| | | ton | 0.962 | 250 GWh |
| 2 | elektro energija zaposlene | KWh | 43.83 | 300 GWh |
| | | zap. | 41.86 | 250 GWh |
| 3 | tekoča in plin. goriva proizvodnja | GWh | 2.677 | 670,0 GWh |
| | | ton | 2.362 | 602,2 GWh |
| 4 | tekoča in plin. goriva zaposlene | KWh | 90.54 | 670,0 GWh |
| | | zap. | 81.38 | 602,2 GWh |



Slika 12

Napoved porabe elektro energije pri optimalni specifični porabi

Fig. 12

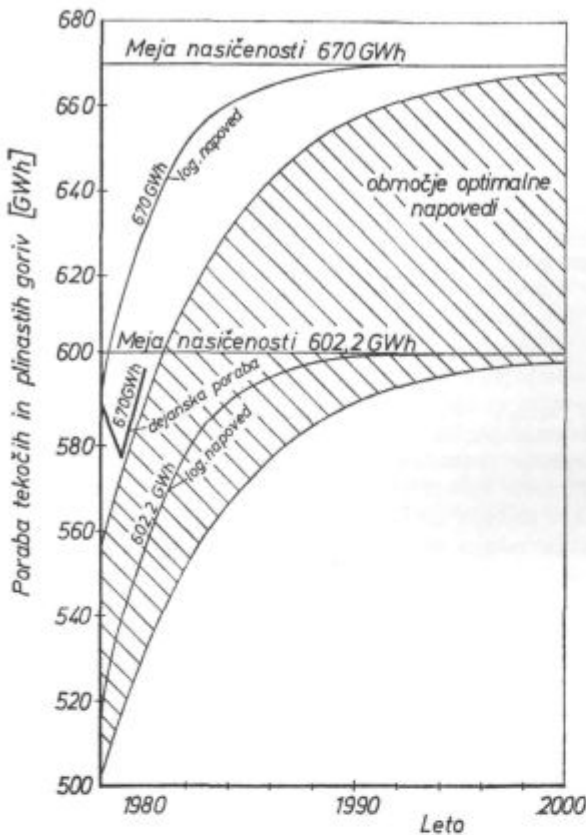
Forecast of the electric energy consumption at optimal specific consumption

predpostavk izračunamo korigirano napoved logistične porabe, kar je prikazano na sliki 12 za električno energijo in na sliki 13 za tekoča in plinasta goriva, kot najbolj pomembna podatka za energetsko napovedovanje v železarni Ravne.

Iz slike 12 je razvidno, da moramo za proizvodne procese realizirati varčevalne investicijske ukrepe do leta 1984, če želimo ustvariti zastavljeno politiko optimalnega napovedovanja porabe električne energije.

Na področju ogrevanja in splošne porabe energije v železarni je ta podatek vsebovan v porabi, na sliki 14 pa moramo za to srednjeročno obdobje obdržati porabo iz leta 1980, da bi glede na rast proizvodnje lahko nato sledili optimalni specifični porabi toplotne energije od leta 1984 dalje. Iz navedenega sledi, da moramo porabo toplotne energije zelo intenzivno zniževati do leta 1984, medtem ko bomo začeli zniževati logistično napovedano porabo električne energije šele po letu 1984, kar prikazemo na sliki 14 v obliki zahtevanih prihrankov energije glede na logistično napoved in optimalno porabo energije.

S slik 12, 13 in 14 lahko napovemo najugodnejši trend rasti energije za železarno Ravne pri pogoju naravne rasti proizvodnje. V napovedi se omejimo samo na porabo električne energije in tekočih ter plinastih goriv. Napoved upošteva naše dodatne napore v varčevanju energije, da nam bo uspelo porabo omejiti na zahtevano rast. Meja nasičenosti za električno energijo 250 GWh je tudi optimalna poraba električne energije glede na naravno rast proizvodnje železarne. Ta napoved je ugodnejša tudi zato, ker tu specifična poraba pada do leta 1984 in nato ponovno raste. Ker bo sedaj potrebno vlagati določena sredstva za realizacijo varčevalnih



Slika 13

Napoved porabe tekoče in plinske energije pri optimalni specifični porabi

Fig. 13

Forecast of the liquid- and gaseous-fuel energy at optimal specific consumption

programov, pomeni ta napoved časovno realnost realizacije varčevalnih ukrepov od leta 1984 dalje. Tudi dejanska poraba tesno sledi v letih 1978 do 1981 napovedi z mejo nasičenja 250 GWh. Realna napoved dolgoročne porabe električne energije je prikazana v šrafirnem območju na sliki 12, pri pogoju, da bomo dosegli optimalno izrabo dovedene električne energije glede na naravno rast proizvodnje.

Za realizacijo optimalne porabe tekočih in plinastih goriv je potrebno narediti več kot pri porabi električne energije, ki je že v optimalnem pasu. Dejanska poraba tekočih in plinskih goriv se nahaja izven optimalnega pasu dolgoročne napovedi, kar pomeni, da bo na tem področju potrebno storiti še več, da bomo realizirali varčevalne ukrepe. Za uresničitev te napovedi bomo morali obdržati porabo tekočih in plinastih goriv na nivoju iz leta 1980, poleg tega pa še prihraniti 4,5–6,5 % te energije.

Nalogo smo sposobni realizirati do leta 1984, da se z dejansko porabo utrdimo v optimalnem pasu dolgoročne napovedi porabe tekočih in plinastih goriv, tako pa bomo tudi uskladili varčevalne ukrepe z električno energijo. Od leta 1984

dalje bomo morali z dodatnimi ukrepi prihraniti energijo tekočih in plinastih goriv, kot je prikazano na sliki 14.

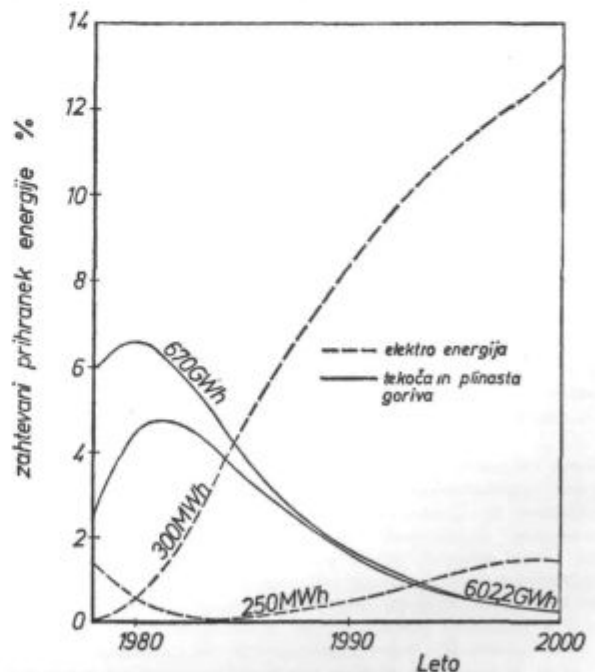
Ta prihranek časovno pada, kar je tudi razumljivo, saj je nemogoče privarčevati poljubno mnogo energije z nekim dolgoročnim programom varčevanja. V začetku lahko veliko privarčujemo, nato pa vedno manj.

6. ZAKLJUČEK

Vsako napovedovanje dogodkov za daljše obdobje je nevhvalno, saj smo vezani na motilne dejavnike, ki nam kvarijo realnost ocene napovedi. V železarni Ravne smo za dolgoročno napoved energetske porabe uporabili matematični model, ki je razvit iz logističnega zakona. Osnovna principa logističnega zakona, meja nasičenosti in maksimalna rast, sta zelo primerna karakteristična izhodiščna podatka, ki ju lahko apliciramo tudi za energetske porabo in njeno napoved.

V delu smo obdelali osnove matematičnega modela od logistične napovedi iz znane časovne vrste podatkov in njene uporabe za dolgoročno napoved energije v železarni Ravne.

Uporabljeni matematični model je zgrajen tako, da na osnovi znanih podatkov, oziroma časovne vrste najprej ugotovimo, ali se dogodek obnaša po logističnem zakonu. V primeru, da dogodek ne



Slika 14

Zahtevani prihranki energije glede na logistično napoved porabe, da se doseže optimalna poraba za ŽR od leta 1984 dalje po logističnem zakonu

Fig. 14

Demanded energy conservation according to the logistic forecast of consumption to obtain the optimal consumption in Ravne Steelworks from 1984 on

sledi logističnemu zakonu, moramo za take časovne vrste uporabiti kakšno drugo metodo dolgoročnega napredovanja.

Ko ugotovimo obnašanje časovne vrste po logističnem zakonu, dobimo tudi istočasno mejo nasičenosti za obravnavani pojav. Ostale koeficiente matematične formulacije logističnega zakona dobimo na osnovi metode najmanjših kvadratov. Uporabnost opisane metode logističnega napovedovanja na področju energetike smo testirali pri energetske porabi v železarni Ravne.

Za analizo smo po enaki metodi obdelali tudi podatke o proizvodnji in zaposlovanju, ki sta dva spremljajoča pokazatelja. Ugotovili smo, da se energetska poraba pri velikem porabniku obnaša po logističnem zakonu. Za posamezne energetske medije smo obdelali podatke po modelu in napovedali porabo do leta 2000.

Ker velja logistični zakon tudi za proizvodnjo in zaposlovanje, smo z izračunom specifičnih pokazateljev ugotovili optimalne vrednosti, ki bodo nastopile okoli leta 1984, in sicer za električno energijo kot najpomembnejši energetske vir.

Od tega leta dalje mora za železarno ostati specifična poraba energije optimalna. Iz te zahteve in predpostavke, da bo proizvodnja sledila logistični

napovedi, smo nato izračunali korigirano logistično krivuljo dolgoročne napovedi za električno energijo in tekoča ter plinasta goriva.

Določeni procesi sledijo logističnemu zakonu, med njimi je tudi energetika s svojimi zakonitostmi. Za velikega porabnika je ta ugotovitev osnova za realnejše napovedovanje dolgoročne porabe energije. Za železarno Ravne smo ugotovili mejo nasičenosti za posamezne energetske medije in največjo rast. Dobljene vrednosti se ujemajo z dejanskim dosedanjim razvojem in porabo, meje nasičenosti pa so tudi realne glede na možnosti nadaljnega razvoja. Na osnovi logistične napovedi porabe energije in proizvodnje železarne smo izračunali optimalno specifično porabo, ki je za nas najbolj pomemben podatek. Varčevalno politiko moramo usmeriti tako, da bomo v nadaljnjem razvoju zmogli obdržati najugodnejše razmerje med proizvodnjo in porabo energije.

Literatura

1. Dr. Indihar Stane:
O logistični krivulji, Naše gospodarstvo, Maribor (1973) št. 5, str. 314—320
2. Dr. Indihar Stane:
Prognostični modeli s S-krivuljami, Naše gospodarstvo, Maribor (1980) št. 4, str. 235—247
3. Letni energetske bilten Železarne Ravne (1965—1980)

ZUSAMMENFASSUNG

Der Energieverbrauch in der schwarzen Metallurgie folgt einem ziemlich schnellen Anfangstrend, erreicht seinen höchsten Aufstieg und wird nachher ruhiger. Der ruhiger werdende Teil der Kurve der Voransage künftiger Entwicklung nähert sich asymptotisch der Sättigungsgrenze, was praktisch das Ende der Entwicklung bedeutet.

Die beschriebene Zeitentwicklung irgendeines Ereignisses folgt dem logistischen Gesetz mit drei Ausgangspunkten und zwar das stetige Wachstum des Ereignisses, der grösste Aufstieg und die Sättigungsgrenze. Diesen Forderungen entsprechen mathematisch die S-Kurven die seinem Wesen nach gedämpfte Kurven des exponentiellen Wachstums sind.

Ein mathematisches Modell für die Voransage bestimmter Ereignisse auf Grund des logistischen Gesetzes ist ausgearbeitet worden. Nach dem Modell kann im ersten Teil festgestellt werden, ob die gegebene Zeitreihe dem logistischen Gesetz folgt, danach werden die Faktoren für

die Gleichung ausgerechnet und die weitere Entwicklung des Ereignisses wird ausgearbeitet. Im Falle, dass die Zeitreihe nicht den logistischen Gesetzen folgt ist für ein solches Ereignis eine andere Methode für die Voransage des zukünftigen Ereignisses anzuwenden.

Das entwickelte Modell für die langfristige Voransage ist am Energieverbrauch des Hüttenwerkes Ravne testiert worden um auf Grund bisheriger Entwicklung die zukünftige Entwicklung voranzusagen. Aus den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass auch die Produktion und die Zahl der Beschäftigten den logistischen Gesetzen folgt. Auf Grund dieser Feststellung ist ein Szenarium zukünftiger Naturentwicklung der Energiewirtschaft im Hüttenwerk ausgearbeitet worden, unter der Bedingung, dass der spezifische Energieverbrauch in optimalen Grenzen bleibt. Aus dem dargestellten Szenarium können die verlangten Energieeinsparungen in den einzelnen Jahren festgestellt werden und auf diesem Grund die Politik der Energiesparmassnahmen kreiert werden.

SUMMARY

Energy in ferrous metallurgy has fast initial trend which reaches its maximum and becomes steady. The steady part of the curve which forecasts further development approaches asymptotically to the saturation limit which practically means the end of the development.

The described time development of a phenomenon follows the logistic law which has three starting points, i. e. the phenomenon constantly grows, it has its fastest growth and the saturation limit. S-curves mathematically correspond to these demands, and they are essentially damped curves of the exponential growth.

A mathematical model for forecasting certain phenomena based on the logistic law was developed. In the first part it states whether the given time series behaves according to the logistic law, then the parameters of the equation are calculated, and the further development of

the phenomenon is worked out. In the case that the time series does not behave according to the logistic law, another method for forecasting the future of the phenomenon must be applied.

The developed model of the long-term forecast was tested on the energy consumption in Ravne Steelworks, and basing on the development till now the further development was forecast. The obtained results show that not only energy consumption but also the output and the number of employees correspond to the logistic law. Thus the scheme of further natural development of energetics in the steelwork was prepared under the condition that the specific energy consumption remains in the optimal limits. The presented scheme can give demanded energy conservation in single years and thus the politics of energy conservation can be created.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В черной металлургии энергия имеет значительно быстрый начальный тренд, достигает свое максимальное развитие и после этого усмеряется. Усмерительная работа кривой о извещении будущего развития асимптотически приближается границы насыщения, что практически указывает на окончание развития.

Описанное временное развитие каких либо явлений разработано по логистическому закону, который имеет три исходные положения: явление непрерывно развивается, имеет свое максимальное развитие и, наконец, доходит к пределу насыщения. Этим требованиям математически отвечают S-кривые, которые в действительности представляют собой демпфированные кривые показательного развития определенного явления.

Авторы статьи разработали математический модель применим для предсказания определенных явлений на основании логистического закона. В первую очередь модель определяет-прдерживается ли приведенный вид явления логистического закона. После

этого исчисляются факторы уравнения и изготавливается последующее развитие явления. В случае, если временный вид не в согласии с логистическими закономерностями, то для такого явления надо подыскать какой нибудь другой метод, подходящий для показания явления в будущем.

Разработанный модель для долгосрочного извещения применен на примере расхода энергии в Металлургическом заводе Железарна Равне. Оказалось желание изложить, на основании существующего, будущее развитие. Полученные результаты также показали, что логистическому закону следуют также производство и число работающих. На основании этой констатации изготовлен план будущего естественного развития энергетики под условием, что специфический расход энергии останется в оптимальных пределах. Из приведенного плана (сценария) можно определить требуемые сбережения энергии в отдельных годах и, на этом основании создать политику сбережения энергии.