

Zanesljivost proizvodnih naprav

DK: 658.274:621.797

ASM/SCA: T 7 f, A 5, 18-71

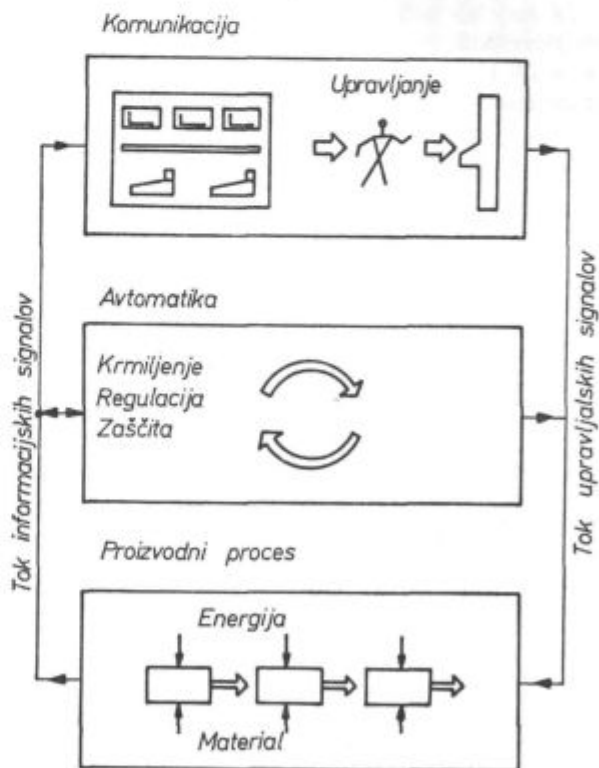
Janez Bratina

Važen parameter proizvodnih tehniških sistemov je njihova razpoložljivost, tj. delež časa, ko so naprave sposobne obratovati; razpoložljivost je ekonomski parameter, pa tudi merilo tehniške opremljenosti in proizvodne organiziranosti. Odvisna je od zanesljivosti, oz. od pričakovane življenjske dobe elementov, iz katerih je proizvodna naprava sestavljena, od načina gradnje teh naprav ter od vrste ukrepov in potrebnih opravil posluževalnega in vzdrževalnega osebja. Okvare, ki prekinjajo proizvodnjo, povzročajo škodo zaradi zastojev v proizvodnji in zaradi stroškov popravil. Poznavanje vzrokov okvar in zakonitosti, s pomočjo katerih se dajo zgraditi proizvodne naprave z večjo stopnjo razpoložljivosti, je pri današnji, vedno bolj kompleksni in avtomatizirani proizvodnji važno za vodenje in planiranje proizvodnje, pa tudi za gradnjo teh naprav in njih vzdrževanje.

Poostreni ekonomski odnosi, ki so posledica vedno višjih cen surovin in energije, kakor tudi vedno večjih naložb kapitala v proizvodne naprave ter postroje in njihovega usodnega vpliva na človekovo okolje, postavljajo za zanesljivost, oz. optimalno izkoriščanje teh naprav vedno ožje in ostrejšje zahteve. Vsaka proizvodna naprava, oz. postroj je kompromis med tehničnimi možnostmi in ekonomsko upravičenostjo: hiter razvoj novih tehnologij zahteva gradnjo naprav s kratko ekonomsko življenjsko dobo, oz. gradnjo naprav z določeno življenjsko dobo, v kateri se dosegajo maksimalni efekti ob največji izkoriščenosti materiala in energije. Specifične obremenitve se premikajo vedno bliže mejnim vrednostim: ti premiki so posledica naraščajočih stroškov materiala, pa tudi popolnejše konstrukcije in skrbnejših izračunov. Razvoj proizvodnih naprav k vedno kompleksnejši avtomatizaciji pa povzroča večjo povezanost proizvodnih enot v proizvodne sisteme, hkrati pa vedno bolj onemogoča človeku neposreden vpliv na proizvodni proces (sl. 1). Količina proizvodnje in kvaliteta sta z rastočo avtomatizacijo vedno manj odvisna od posluževalca: programsko krmiljeni stroji, mikroprocesorske vodene proizvodne linije in produkcijski roboti to dokazujejo. Tudi proizvodnja

in prenos energije je z vedno večjimi potrebami in z zahtevo, da mora proizvodnja biti v vsakem trenutku enaka porabi, že davno prešla v tako obsežno avtomatizacijo, da smo lahko le še presenečeni in nemočni opazovalci, ko nepredvidljivi dogodki podirajo obratovalne sisteme. Nepredvideni dogodki so predvsem okvare elementov proizvodnih sistemov pred predvidenim potekom njihove pričakovane življenjske dobe in človeške napake. Vzroke okvar, ki prekinjajo normalni obratovalni cikel, lahko delimo v tri skupine:

1. Sistemske tehnične napake, tj. napake v konstrukciji, v izračunu, v izdelavi ali montaži.
2. Napake v eksploataciji, tj. zaradi staranja, obrabe, prevelikega segrevanja, itd.
3. Napake zaradi nepravilnega upravljanja in nepravilnega vzdrževanja.



Slika 1
Upravljanje proizvodnega procesa

Fig. 1
Operation of the production process

Janez Bratina, diplomirani inženir elektrotehnike je ravnatelj TOZD Elektrotehniške storitve v Železarni Ravne

Na podlagi statističnih podatkov nekaterih zahodnih zavarovalniških družb (Alianz Versicherung) lahko za skupino električnih strojev, postrojev in napeljav ugotovimo, da se pogostost navedenih napak giblje v razmerju 45:45:10, da pa je razpored njihove materialne škode v razmerju 75:15:15. Presenečajo predvsem zelo pogoste in materialno zelo boleče sistemske tehnične napake. Domače izkušnje govore o bolj enakomerni porazdelitvi navedenih napak, kar je posledica večje pogostosti napak v eksploataciji, pa tudi večje starosti proizvodnih naprav, saj se sistemske napake pojavljajo predvsem pri zagonu, oz. na začetku obratovanja. Ne gre pa le za škodo, ki na napravah in napeljavah nastane zaradi okvar. Količina proizvodnje in kvaliteta sta odločilno odvisni od stanja naprav, stroški proizvodnje pa so sorazmerni izpadu obratovanja teh naprav. Dokler proizvodnja poteka na več paralelno delujočih strojih z rezervnimi proizvodnimi kapacitetami, je izpad stroja zaradi okvare le motnja v proizvodnji in dodaten proizvodni strošek za popravilo stroja. Pri visoko avtomatizirani in integrirani proizvodnji pa je zaradi velikih stroškov in zaradi velikih proizvodnih zmogljivosti vsak izpad proizvodnje tako vpliven na gospodarnost (ali varnost), da je potrebno obratovalno zanesljivost obravnavati z vseh vidikov te posebne tehnične discipline: z vidika merjenja, ocenjevanja, s potrebo po napovedovanju in optimiranju obratovalne zanesljivosti.

Če naj bo naš cilj preventivno preprečevanje nepredvidenih dogodkov na proizvodnih napravah, postrojih in napeljavah, katerih posledica je izpad proizvodnje in nastanek škode, je potrebno predvsem ugotavljati njihove zakonitosti in analizirati vzroke.

1. SISTEMSKE TEHNIČNE NAPAKE

Prično se pri načrtovanju, konstruiranju in projektiranju. Nastajajo zaradi subjektivnih slabosti (napak, neznanja), najpogostejše pa zaradi premajhnega poznavanja zahtev in razmer, ki bodo v eksploataciji nastale. V vsakem primeru je osnova načrtovanja analiza zahtev in presoja delovnih razmer. Premalo nam je v zavesti, da je polovica projekta razčiščena projektna naloga in da predstavlja projekt sintezo danih vhodnih količin s predvidenimi izhodnimi efekti. Izbira zaščitnih tehničnih in varnostnih sistemov lahko bistveno vpliva na obratovalno zanesljivost. Gradnja sistemov za upravljanje, ki loči različne nivoje krmiljenja (ročno, avtomatsko, računalniško), lahko omogoča normalno proizvodnjo tudi ob izpadu enega ali več nivojev. Gradnja merilno regulacijske opreme mora biti stopenjska, tako da so v osnovni stopnji kljub defektom še vedno delujoči elementi, ki skrbijo za signalizacijo in varnost. Integrirna vezja omogočajo vrsto rezerv v krmilnoregulacijskih zankah (statična, dinamična, hibridna, modularna

redundanca), ki za več velikostnih redov zvečujejo obratovalno zanesljivost naprave.

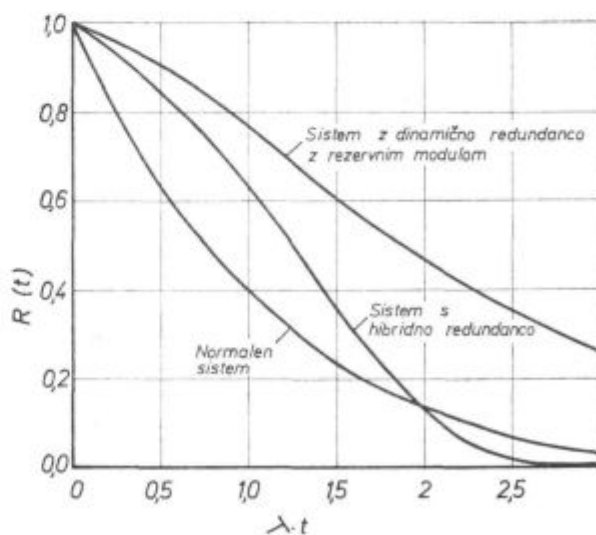
Pri obravnavi sistemskih napak moramo imeti pred očmi dejstvo, da predstavlja vsaka naprava ali postroj organski sistem, ki je sestavljen iz elementov omejenega trajanja, oz. iz ustrezne količine uporabljivosti. Ta količina se s časom zmanjšuje, stroj postaja star, vedno manj uporaben. Življenjsko dobo elementov merimo s povprečnimi obratovalnimi urami, s številom operacij, manevrov, ki jih element zdrži, itd. Merilo za obratovalno zanesljivost sistema je tako imenovani srednji čas do pojava napake MTTF (mean time to failure), oz. njegova recipročna vrednost λ , ki se imenuje faktor izpada. Če je faktor izpada časovno neodvisen, dobi zanesljivost sistema znano eksponentialno funkcijo.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Razvidno je, da obratovalna zanesljivost s časom pada in da je po preteku časa življenjske dobe enega elementa obratovalna zanesljivost sistema le še 36,7 %, če ne bi drugače ukrepali (sl. 2). Predpostavka o konstantnem MTTF času, oz. o konstantnem faktorju izpada λ pa ne drži povsem, niti za vse elemente niti za celoten opazovani čas. Če opazujemo večje število enot (in le tako dobimo verjetne zakonitosti) skozi daljše časovno obdobje, ugotovimo, da je pogostost pojavljajočih se napak porazdeljena po karakteristični krivulji, ki nosi zaradi svoje oblike ime »krivulja kopalne kadi« (sl. 3). Na njej ločimo tri območja:

— začetno področje je območje otroških boleznih (burn in), ko se napake pojavljajo v prvih nekaj obratovalnih urah, v poizkusnem obratovanju ali v garancijskem času;

— srednje ali zrelo področje najboljše obratovalne zanesljivosti (najmanjši λ), ki nastopi po pre-

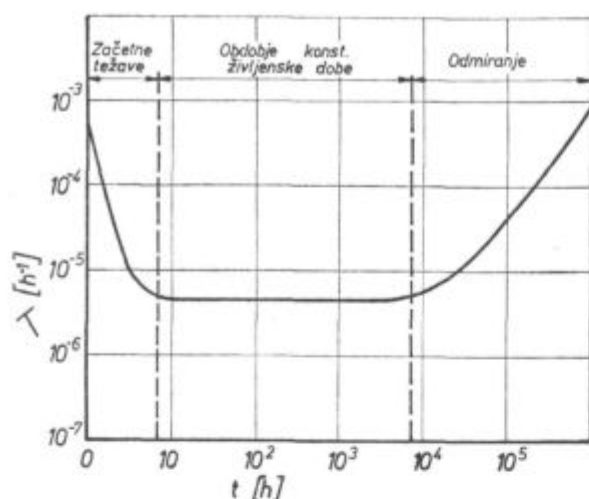


Slika 2

Zanesljivost tehniških sistemov: λ — faktor izpada

Fig. 2

Reliability of technical systems: λ -factor of failure



Slika 3

Krivulja kopalne kadi: faktor izpada λ (h) kot funkcija časa t (h)

Fig. 3

Curve of bath tube: factor of failure λ (h) as function of time t (h)

bolelih otroških boleznih; λ je v tem področju konstantna in je uporabna za račun zanesljivosti;

— področje odmiranja (burn out) nastopi, ko se prično vrednosti za λ ponovno večati: nastopa vedno več defektov; to je primeren čas za odpis odprave.

Zanesljivost elementa kot funkcijo časa $R(t)$ lahko okarakteriziramo tudi kot verjetnost, da ta element preživi določen čas. Iz zgornje enačbe torej sledi, da obstaja le 36,7 % verjetnost, da bo neki element doživel svojo povprečno življenjsko dobo (MTTF). Če opazujemo množico elementov N , ki imajo konstanten faktor izpada λ , dobimo verjetnost, da bo iz elementov N izpadlo v času t v celoti x delov kot kumulativno Poissonovo porazdelitev:

$$F(x/\gamma) = \exp(-\gamma) \sum_{i=0}^x \frac{\gamma^i}{i!},$$

pri čemer je γ — srednje število izpadov

$$\gamma = N \cdot \lambda \cdot t$$

Težko uporabne tabelarične pregledne navedene funkcije dobro ponazarja Thorndikeov diagram (sl. 4), ki je za običajne izračune dovolj primeren. S pomočjo diagrama lahko:

— iščemo verjetnost $F(x/\gamma)$, če so dani: N , λ , x , t

— iščemo faktor izpada λ , če so dani:

$F(x/\gamma)$, N , x , t

— iščemo število izpadov x , če so dani:

$F(x/\gamma)$, N , λ , t

N.pr.: 20 elementov s faktorjem izpada $\lambda = 10^{-5} \text{ h}^{-1}$ mora obratovati 1000 h. Kakšna je verjetnost, da v tem času ne bo nobenega izpada?

$$\gamma = N \cdot \lambda \cdot t = 20 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 = 0,20$$

$$x = 0 \text{ Iz slike 4 sledi } F(x/\gamma) = 0,82$$

Glede na srednjo življenjsko dobo v proizvodnih sistemih uporabljenih funkcionalnih elementov le-te grupiramo v štiri razrede:

a) srednja življenjska doba 10^7 obratovalnih ur (1150 let) — zelo majhna verjetnost napake;

b) srednja življenjska doba od 10^5 do 10^7 obratovalnih ur (11,5 do 1150 let) — majhna verjetnost napake;

c) srednja življenjska doba 10^4 do 10^5 obratovalnih ur (1,15 do 11,5 let) — srednja verjetnost napake;

d) srednja življenjska doba do 10^4 obratovalnih ur (do 1,15 let) — velika verjetnost napake.

Če želimo neki sistem analizirati glede na obratovalno zanesljivost, moramo poleg predvidene pogostnosti defektov na posameznih elementih (Failer Effect) upoštevati še, kako vsaka taka napaka vpliva na zanesljivost sistema (Failer Mode). Prav ta vpliv na zanesljivost sistema je pogosto mnogo lažje oblikovati s premišljenimi samokontrolnimi in redundantnimi podsistemi, sestavljenimi iz kvarljivih elementov, kot pa za vsako ceno segati po elementih, ki zagotavljajo izjemno življenjsko dobo.

Vplive napak na sistem delimo podobno kot same napake glede omejenega trajanja prav tako na štiri razrede:

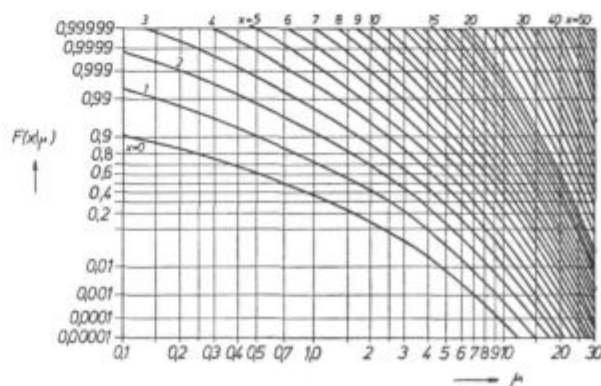
a) napaka nima vpliva,

b) vpliv napake je neznaten, mogoče ga je kompenzirati;

c) vpliv napake je kritičen, samo izredni posegi preprečujejo nevarnosti;

d) vpliv napake je katastrofalen, sistem ob tej napaki razpade.

Tako zgrajena logična shema vzrokov in posledic, ki nam jo da metoda, ki se imenuje drevo napak (Fault Tree), se da matematično zajeti po pravilih Boolove algebre. Kritično pot predstavlja veriga dogodkov, ki da največjo vsoto verjetnosti nastanka katastrofalnega dogodka. Pri tem predstavljajo členi »ali« (vrata »ali«) vsoto posameznih verjetnosti, členi »in« pa produkt posameznih ver-



Slika 4

Thorndike-ov diagram: verjetnost $F(x/\gamma)$ v odvisnosti od srednjega števila izpadov γ

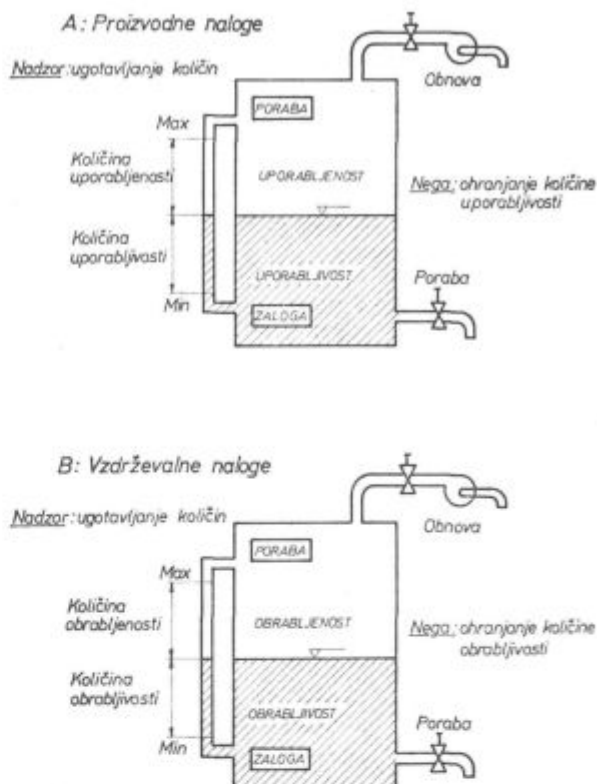
jetnosti. Nastanek kritičnega dogodka je ob »in« verigi dogodkov manj verjeten od verjetnosti posameznih dogodkov, saj morajo ti za realizacijo posledice nastopiti istočasno. Pri »ali« verigi dogodkov pa je verjetnost kritičnega dogodka večja od verjetnosti zatajitve posameznega člena, saj se verjetnosti enostavno seštevajo.

Predaleč bi nas zanesla tako obsežna matematična obdelava obratovalne zanesljivosti neke naprave, saj se tudi v praksi takšne verjetnostne analize redko izdelujejo. Kljub temu pa nam že same zakonitosti o povečanju ali zmanjšanju verjetnosti nastopanja napak govore, na kaj je potrebno pri snovanju proizvodnih sistemov paziti, da se jim povečuje obratovalna zanesljivost.

Varnostni verižni sistemi in samozaščitne blokade pri krmiljenju obdelovalnih strojev, stiskalnic, dvigalnih napravah zagotavljajo tudi po nastanku okvar na posameznih elementih še vedno normalno obratovanje ali pa nevarno zaustavitev obratovanja. Prednostni cilj je seveda delovna varnost, ki pa se skoraj vedno dosega z visoko obratovalno zanesljivostjo. Napotki, ki nam jih daje verjetnostna analiza obratovalne zanesljivosti, so duhovito strnjeni v vse premalo poznanem in upoštevane Morphijevega zakonu, ki pravi: Če je kakršnakoli možnost, da lahko gre kaj napak, bo zagotovo šlo. (If anything can go wrong it will).

2. NAPAKE V EKSPLOATACIJI

so zelo raznolike; sem uvrščamo izpade in poškodbe zaradi okvare zaščitnih in varnostnih naprav, zaradi obrabe, erozije staranja, ali pa so posledice zaradi delovanja škodljivih zunanjih vplivov, kot so poškodbe, deformacije, prenapetosti, vlaga, temperatura. S pričetkom eksploatacije proizvodne naprave postane zanesljivost obratovanja odvisna od upravljalca stroja in njegovega vzdrževalca, saj je v tem trenutku količina (zaloga) uporabljivosti stroja, oz. količina (zaloga) obrabljivosti stroja največja. Na sl. 5 je prikazan model obrabljanja, oz. model vzdrževanja proizvodnih naprav, kakršen sledi iz DIN 31051, po katerem je vzdrževanje celota ukrepov določanja in obnavljanja željenega stanja in ugotavljanja ter vrednotenja dejanskega stanja; glavni cilj je ugotavljanje dejanskega stanja, tj. zasledovanje obratovalnih parametrov (pritisk, temperatura, tok, napetost, vibracije, čas), ki se morajo gibati znotraj nazivnih vrednosti in pogojev obratovanja (mazanje, hlajenje). Potrebno je občasno in stalno ali samodejno nadzorovati merne regulacijske in zaščitne naprave; pregledovati v rednih časovnih intervalih vse elemente, ki se starajo ali obrabljajo; zasledovati in ugotavljati dotrajanost komponent, kar pomeni predčasno odkrivanje slabih mest.



Slika 5
Model vzdrževanja
Fig. 5
Maintenance model

3. NAPAKE ZARADI NEPRAVILNEGA POSLUŽEVANJA

in nepravilnega vzdrževanja vnašajo v vedno bolj zapleten upravljalško-regulacijski proizvodni cikel s svojimi posledicami boleča spoznanja o omejeni zanesljivosti človeka, ki ostaja še vedno kritičen element v delovnem procesu. Če bi ga obravnavali ergonomsko (Human Factor Engineering) s stališča sistemskih napak, bi ugotovili, da ima glede na svoje obratovalne ure (80.000 ur) srednjo verjetnost za nastanek napake, da pa je njegov vpliv na zanesljivost proizvodnega sistema resnično katastrofalen. To najbolj izpričuje statistika okvar na strojih z ročno obdelavo materiala, kjer je delež okvar zaradi napačnega upravljanja 75 % vseh nastopajočih okvar. Napake zaradi nepravilnega upravljanja in vzdrževanja izvirajo iz pomanjkljivosti in neznanja, zato je eno izmed vodilnih načel sodobnega koncipiranja proizvodnih naprav predvsem v težnji, kako iz sistema izključiti nezanesljivi element — človeka ali pa njegovo nezanesljivost kar najbolj zmanjšati. Na področju zanesljivega sporazumevanja med človekom in strojem so zadnja desetletja razvoja elektronike, mikroprocesorske tehnike in računalništva prinesle nove rešitve, ki gredo predvsem v smeri humanizacije dela in delovnega mesta. Od enostavnih ročnih ukazov za posamezen gib je potekal razvoj

tako, da pomeni določen ukaz že skupino logično med seboj povezanih operacij, ki so med seboj in vsaka zase nadzorovane. Ustrezne signalizacije javljajo nevarna stanja, oz. stanja zunaj dovoljenih limit. Te prijeme obravnava avtomatizacija delovnih procesov, ki združuje zakonitosti krmiljenja in regulacijske tehnike. Nadaljnjo osvoboditev človeka od stroja ter istočasno povečanje proizvodne zmogljivosti in izboljšanje kvalitete pomeni uvedba mikroprocesorjev in procesnih računalnikov v sisteme vodenja. Komaj pričeti proces uvažanja teh novih pripomočkov omogoča uporabo prostoprogramiranega krmiljenja in regulacije, upravljanja po modelu, adaptivnega vodenja in regulacije ter gradnje najzahtevnejših po kibernetičkih principih vodenih tehničnih sistemov.

Tudi sam sistem upravljalca stroja ali vzdrževalec stroja — stroj je kibernetično zaključen upravljalni krog s povratno vezavo. Pri proizvodni nalogi upravljalca stroja ugotavlja še preostale količine uporabljivosti stroja ter jo z ustrezno nego ohranja, pri vzdrževalni nalogi pa vzdrževalec ugotavlja količino obrabljenosti in jo po potrebi z obnovo nadomešča. Kljub temu, da sta si pojma uporabljivost in obrabljenost ekvivalentna, sta bistveno različna. Upravljalca stroja določa potrebno količino uporabljivosti stroja, saj ta odgovarja za izdelek, vzdrževalec stroja pa ugotavlja količino obrabljenosti in minimum te količine, ki ne sme biti prekoračena, saj ta odgovarja za sposobnost in varnost obratovanja stroja. Količina uporabljivosti je n. pr. dana s toleranco, s katero stroj lahko izdeluje strojne dele, ali z zmogljivostjo zavor.

Toleranco izdelkov in zmogljivost zavor mora nadzirati uporabnik; ta s tem sprotito ugotavlja še preostalo količino uporabljivosti. Vzdrževalec pa z nadzorom (s preizkusom, z meritvijo) ugotavlja izrabljenost, dotrajanost in s tem preostalo količino uporabljivosti. Količina uporabljivosti in količina preostale obrabljenosti sta vrednosti, ki nimata le različnih nivojev, ampak se s časom tudi različno hitro zmanjšujeta — tako pri strojih kot pri ljudeh.

Z avtomatizacijo proizvodnje prihaja do vedno bolj enakovredne delitve dela med proizvodnjo in vzdrževanjem. Določanje in ugotavljanje stopnje (količine) uporabljivosti strojev in naprav je dolžnost proizvodnje, medtem ko je določanje in ugotavljanje preostale količine obrabljenosti naloga vzdrževalcev. Tak pristop obravnavanja proizvodne zanesljivosti omogoča izpeljavo nalog sodobnega vzdrževanja:

a) Ugotavljanje in nadziranje dejanskega in želenega stanja; nadzor je osnovni vir informacij, ki dajejo pregled nad stanjem naprav.

b) Ohranjanje želenega stanja naprav zahteva vrsto različnih dejavnosti: čiščenje, mazanje, zamenjava obrabljivih delov, skratka, nega. Ta dejavnost je skupna naloga vzdrževalcev in upravljalcev.

c) Obnova strojev in naprav je potrebna v določenih časovnih obdobjih, ko pade količina obrabljenosti na minimum.

Model vzdrževanja, prikazan na sl. 5, dokazuje vse premalo upoštevano dejstvo, da na »zalogo obrabljenosti«, oz. na »zalogo uporabljivosti« proizvodne naprave vplivata tako upravljalca stroja kot njegov vzdrževalec. Končni cilj, tj. čimbolj nemotena proizvodnja, je isti, le opravila so specifična in imajo v različno opremljenih obratih različno težo.

Dosedanja razmišljanja o obratovalni zanesljivosti proizvodnih naprav in sistemov ter pristop k ohranjanju obratovalnih sposobnosti teh naprav in sistemov so imela cilj doseči njihovo čimvečjo proizvodno razpoložljivost, tj. da so le-ti čimveč proizvodnji namenjenih ur pripravljeni za obratovanje. Razpoložljivost proizvodnih kapacitet neke proizvodne enote ni samo zanimiv ekonomski dejavnik, temveč je tudi merilo tehnične opremljenosti in proizvodne organiziranosti. Razpoložljivost proizvodnih zmogljivosti pa ni odvisna le od njihove obratovalne zanesljivosti, temveč tudi od vrste dejavnikov, ki smo jih sicer združevali pod imenom vzdrževanje, pa zaslužijo osvetlitve, posebno še, ker omogočajo analitski pristop k pojmu razpoložljivost. Če je nasprotna vrednost razpoložljivosti (R) — nerazpoložljivost (NR), lahko pišemo, da je:

$$NR = 1 - R$$

Če predpostavljamo, da imamo tehnični sistem sestavljen iz n identičnih enot, od katerih ima vsaka enota

faktor izpada: $\lambda = 1/\text{življenjska doba}$, da imamo m rezervnih enot, za zamenjavo vsake enote je karakterističen:

faktor zamenjave $\nu = 1/\text{čas zamenjave}$ in za popravo vsake enote pa:

faktor popravila $\mu = 1/\text{čas popravila}$, lahko enostavno pišemo:

$$NR = n\lambda/\nu \quad \text{za } m > 0$$

Nerazpoložljivost sistema, (tj. zastoj) je neposredno odvisna od faktorja izpada elementa (λ) in obratno sorazmerno od faktorja zamenjave, če imamo dovolj rezervnih delov ($m > 0$). Če pa rezervnih delov ni ($m = 0$), dobi navedeni izraz obliko:

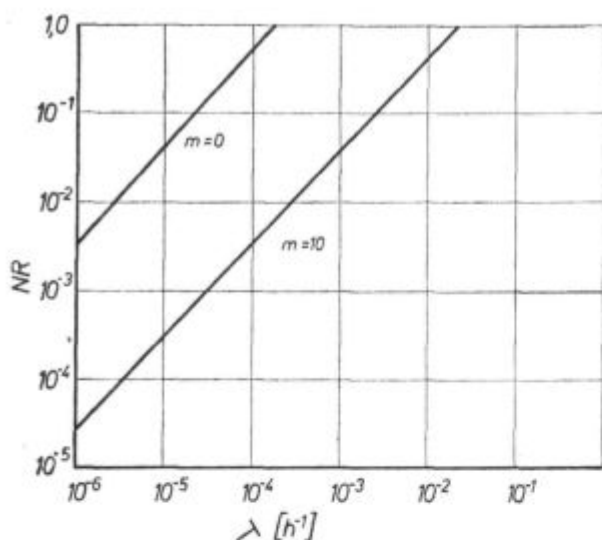
$$NR = n\lambda/\mu$$

V tem primeru je nerazpoložljivost sistema sorazmerna faktorju izpada in obratno sorazmerna faktorju popravila.

Zgornji relaciji sta prikazani na sl. 6 in predstavljata najenostavnejši mejni vrednosti ($m = 0, m > 0$).

V vsakem primeru pa je nerazpoložljivost sistema v najširšem območju proporcionalna faktorju izpada. Maksimalno vrednost doseže nerazpoložljivost pri $NR = 1$ v primeru, da je

$$\lambda = m \cdot \mu$$



Slika 6

Nerazpoložljivost NR kot funkcija faktorja izpada λ pri $v = 0,1 \text{ h}^{-1}$ in $\mu = 0,001 \text{ h}^{-1}$ za $n = 5$

Fig. 6

Non-availability, NR, as the function of the factor of failure λ at $v = 0.1 \text{ h}^{-1}$ and $\mu = 0.001 \text{ h}^{-1}$ for $n = 5$

kar pomeni, da so vse rezervne komponente v popravilu in da je okvara naslednje komponente usodna. Iz sl. 6 je tudi razvidno, da je $NR = 1$ tudi v primeru, da je $n \cdot \lambda = v$, kar pomeni, da po vsaki zamenjavi elementa odpove naslednji element, oz. tudi v primeru, da je $n \cdot \lambda = \mu$, kar pomeni, da po vsakem popravilu elementa odpove naslednji element.

Poleg teh enostavnih relacij pa je važno spoznanje, da za vse prej obravnavane faktorje obstaja za vsak n neko optimalno število rezervnih enot m . Nobeno povečanje števila rezervnih enot nad to vrednostjo ne vpliva več na NR. Podobno se da dobiti tudi optimalno število popravilalcev elementov, oz. zamenjevalcev elementov.

Funkcija vzdrževanja se od splošnih nalog in spoznanj konkretizira na potrebne čase za zamenjavo pokvarjenih elementov, na potrebne čase za popravilo pokvarjenih elementov ter na optimiranje zalog rezervnih delov. S tem postane vzdrževanje s svojo zahtevo po kadrovske strukturi, ki je sposobna opraviti našete naloge, s svojo zahtevo po tehnični opremljenosti, ki omogoča opravljanje nalog, in z zalogami materialov specifična proizvodna organizacija z zahtevno organizacijo dela. Poleg že omenjenih zahtev za zasnovo in gradnjo proizvodnega sredstva morata zagotoviti kupec in dobavitelj posebne obveznosti pri postavitvi, zagonu in eksploataciji naprave. Poleg splošnih zahtev za postavitev (okolje, varnost) mora biti zagotovljen čas za zagon in čas za poizkusno obratovanje stroja; opravlja se pod nadzorom dobavitelja in to je skrajni čas, ko se s strojem morajo spoznati upravljalci — neposredni uporabniki in vzdrževalci. Pri zahtevnejših napravah je potrebno na posebnih proizvajalčevih tečajih omogočiti tem

delavcem potrebna specifična znanja. Zagon nove proizvodne naprave je delikatno osvajanje ne samo novih proizvodov, ampak tudi novih opravil delavcev, ki z njimi upravljajo in jih vzdržujejo. Poizkusno obratovanje mora dokazati, da so dosežene dogovorjene vrednosti za proizvodnost in kvaliteto, da so pri tem bile obremenitve stroja v normalnih mejah in da ni pripomb ne na funkcionalnost in ne na delovno varnost. Vzdrževalci se morajo seznaniti s tehnično dokumentacijo, z meritvami nazivnih vrednosti, z nastavitvami zaščit, regulatorjev, merilnih instrumentov, s karakterističnimi mejnimi vrednostmi. Izdelani morajo biti sezname vgrajenega materiala, v skladišču morajo biti rezervni deli, ki jih priporoča dobavitelj. V času obratovanja stroja se morajo vodilni delavci občasno seznanjati s proizvodnimi dosežki ter z drugimi posebnostmi, kot n. pr. ali se v eksploataciji uporabljajo obratovalna in vzdrževalna navodila in kakšne posledice nastajajo, če se jih posluževalci in vzdrževalci ne drže. Pri današnjem stanju vedno večje tehnološke integracije postaja proizvodnja vedno bolj neodvisna od neposrednega posluževanja, dobiva pa vzdrževanje takih proizvodnih naprav večjo važnost in pomen za proizvodnjo. Tako se n. pr. za nekatere zahodnonemške industrijske panoge ugotavlja, da je že 40 % vseh škodnih primerov — okvar posledica nepravilne nege in vzdrževanja. Ko smo torej zaradi nezanesljivosti človeka temu odvzeli neposredno vodenje proizvodnih procesov, nam ista nezanesljivost moti proizvodnjo in povzroča škodo pri vzdrževalnih opravilih. Ne menjajo se torej le proizvodne tehnologije in ne stopamo le v naslednjo revolucijo gradnje proizvodnih naprav, temveč se z njo menja in spreminja tudi tehnologija vzdrževanja. Generacije proizvodnih naprav se menjajo in zastarijo v dveh, petih letih. Pri takem razvoju ni mogoče govoriti o kaki večji tipizaciji elementov in naprav v proizvodnih postrojih. Nove, popolnejše, bolj domišljene, bolj avtomatizirane in produktivnejše delovne naprave izpodrivajo popolne, domišljene in produktivne. Tipizacijo elementov nadomešča modularna gradnja, ki omogoča zamenjavo kompletnih ali delnih proizvodnih celic; krmilja dobivajo samodiagnostiko, informatiko in mikroprocesorska tehnika humanizirata proizvodno delo. »Uporabi in zavrzi« postaja tudi na področju proizvodnih naprav neizprosno geslo tržišča. S tem pa funkcija vzdrževanja preneha biti le reparatura proizvodnih strojev, vzdrževalčevo poznavanje naprav in delovne izkušnje z eksploatacijo teh naprav ga postavljajo v funkcijo poznavalca, ki ve, kaj v proizvodnih sistemih zamenjati in kaj zavreči, kako izboljšati delovno zanesljivost in varnost in kdaj pristopiti k obnovi le-teh.

ZAKLJUČEK

Z vedno večjo avtomatizacijo postaja integrirana tehnološka proizvodnja vedno bolj neodvisna od neposrednega posluževanja. Važen ekonomski

dejavnik proizvodnje postaja tako imenovana razpoložljivost naprav, tj. del časa, ko so naprave sposobne proizvajati. Okvare zmanjšujejo razpoložljivost, povzročajo škodo zaradi zastojev v proizvodnji, pa tudi zaradi stroškov za popravilo. Okvare, ki nastajajo, so:

— okvare zaradi sistemskih napak, ki so posledica neupoštevanja fizikalnih zakonitosti in razmer, neupoštevanja življenjske dobe elementov in vpliva defektov na zanesljivost proizvodne naprave;

— okvare zaradi eksploatacije, ki nastajajo zaradi obrabe, staranja in nepazljivega nadziranja količin uporabljivosti in obrabljivosti strojev in naprav ter zaradi preslabe nege;

— okvare zaradi nepravilnega posluževanja in vzdrževanja so moderna bolezen; naloge vzdrževanja so izpeljane iz zakonitosti o razpoložljivosti proizvodne naprave, ki ni odvisna le od obratovalne zanesljivosti, temveč tudi od časov zamenjav

in časov popravila pokvarjenih elementov, od zalog rezervnih delov, kadrovske strukture vzdrževalcev in njihove organizacije dela.

Seznam literature

1. Messerschmidt-Bölkow-Blomm, Technische Zuverlässigkeit, Springer Verlag 1977
2. Allianz Versicherungs — AG, Handbook of Loss Prevention Springer Verlag 1978
3. Joachim Kund, Optimierung des Arbeitskräfteeinsatzes in der Instandhaltung VEB DVG Leipzig 1971
4. Hans Fery, Hohe Verfügbarkeit komplexer technischer Systeme durch geplante Ersatz und Reparaturstrategie ETZ 12, 1980
5. Friedrich Ruf, Aspekte bei der Zuverlässigkeit integrierter Schaltungen, Elektronik 23, 1980
6. P. Müller, E. Schwarz, Zuverlässigkeitssicherung Siemens 1982
7. DIN 31051 Instandhaltung (Begriffe)

ZUSAMMENFASSUNG

Mit immer grösser werdenden Automatisierung wird die integrierte technologische Produktion immer mehr unabhängiger von der unmittelbaren Bedienung. Wichtiger ökonomischer Faktor der Produktion ist die sogenannte Verfügbarkeit der Anlagen, das ist der Teil der Zeit in dem die Anlagen Produktionsfähig sind. Beschädigungen vermindern die Verfügbarkeit, verursachen Schaden, so wegen der Stockung in der Produktion wie auch wegen des Reparaturaufwandes. Die entstanden Schaden können wie folgt unterteilt werden:

— Schaden wegen der Fehler im System die eine Folge der Nichtberücksichtigung der physikalischen Gesetzmässigkeiten und der Umstände sind, weiter Nichtberücksichtigung der Lebenslänge der Elemente und der Ein-

flüsse der Defekte auf die Zuverlässigkeit der Produktionsanlagen;

— Schaden wegen der Ausbeutung die eine Folge der Abnutzung, der Alterung, und der achtlosen Verfolgung der Grössen der Anwendbarkeit und der Abnutzung der Maschinen und Anlagen, und der schlechten Wartung sind;

— Schaden wegen der unrichtigen Bedienung und Wartung sind moderne Krankheit; die Wartungsaufgaben sind ausgeführt aus den Gesetzmässigkeiten über die Verfügbarkeit der Produktionsanlagen die nicht nur von der Betriebszuverlässigkeit abhängig ist sondern auch von den Umtausch und Wartungszeiten der beschädigten Teile, von den Reserveteilen am Lager, der Struktur der Instandhaltungsleute und deren Arbeitsorganisation.

SUMMARY

The increased degree of automation makes the integrated technological production process less dependant on the direct manipulation. Important economic parameter of the production process is the so called availability of the set, i. e. portion of time when the equipment can operate. The breaks reduce the availability, cause the damage due to the interrupted process, and cause the repair costs. The breaks are:

— due to system faults as the consequence of disregarding physical laws and conditions, life of constituents, and influence of defects on the reliability of the production set,

— in exploiting due to wear, ageing, uncareful control of applicability and wear parameters of machines and set, and due to bad attendance,

— due to uncorrect manipulation and maintenance which is a modern disease; maintenance tasks are deduced from the rules on the availability of the production set which does not depend only on the operating reliability but also on time of replacing or repairing broken parts, on stock of spare parts, professional structure of maintainers, and their organization of maintenance.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С существенным увеличением применения автоматизации становится интегрирующее технологическое производство всё более независимо от непосредственного обслуживания. Крупный экономический фактор производства становится возможность пользования устройств т. е. доля времени в течении которого устройства способны выполнять работу. Дефекты уменьшают работоспособность устройств, причиняют ущерб не только вследствие простоев в производстве и выстоев отдельных механизмов, а также вследствие ремонтных расходов.

Дефекты, которые могут получиться следующие:

— неисправности вследствие систематических прогрешностей, которые представляют собой последствия несоблюдения долговечности физических закономерностей и соотношений несоблюде-

ния долговечности отдельных элементов и влияние дефектов на надёжность производственного устройства;

— неисправности при эксплуатации, которые происходят вследствие износа, старения, из-за небрежного надзора над времени применимости и износа механизмов и приспособлений, а также из-за невнимательного технического обслуживания.

Неисправности вследствие неправильного обслуживания и содержания представляют собой можно сказать современный болезненный симптом. Обязанности, которые касаются содержания выданы из закономерности возможности пользования производственного устройства, которое не зависит только от эксплуатационной надёжности, но также от промежутков времени замены и починки неисправных элементов, от наличия запасных деталей, от состава кадра для обслуживания и от организации их работы.