

ANALIZA FAKTORA RIZIKA KOD IZBORA KONSTRUKTIVNIH MATERIJALA U PROIZVODNIM PROCESIMA PREHRAMBENE INDUSTRIJE

RISK FACTORS ANALYSIS IN THE CHOICE OF THE CONSTRUCTIVE MATERIALS IN PRODUCTION PROCESSES OF NUTRITION INDUSTRY

dr. sc. Ifet Šišić, docent
Biotehnički fakultet u Bihaću
Kulina Bana 2. 77000 Bihać

REZIME

Specifičnosti prehrambene industrije u odnosu na druge industrije se ogledaju u primjeni odgovarajućih higijensko-zdravstvenih propisa koji važe kod izrade standardne i nestandardne procesne opreme kao i kod odvijanja tehnološkog procesa prerade i proizvodnje hrane. Na izbor konstruktivnih materijala, izradu, oblikovanje i spajanje utiče niz faktora koji se moraju uvažavati radi zadovoljenja osnovnih zahtjeva HACCP-a i svođenja rizika onečišćenja hrane na dozvoljenu mjeru. U tom pogledu mehaničke osobine, otpornosti na naprezanja i deformacije, habanje, antikoroziivna zaštita, ponašanja materijala opreme kod promjena naprezanja, režima i uslova rada (topli i hladni režim odvijanja procesa) i cijena imaju odlučujuće uticaje na smanjenje i eliminaciju kritičnih mjesta i tačaka onečišćenja hrane.

Ključne riječi: konstruktivni materijali, faktori rizika, higijensko-zdravstvena propisi, kritična mjesta i tačke.

ABSTRACT

Specific qualities of nutrition industry compared to other industries are shown in the application of the appropriate sanitary regulations that are valid with a construction of standard and non-standard process equipment, as well as with a technological process in food processing and production. A selection of constructive materials, their production, forming and connecting are affected by many factors that have to be taken in consideration for the sake of meeting the basic HACCP requirements and for the sake of minimization of food contamination to the permitted level. Therefore, mechanical characteristics, resistance to straining and deformation, wearing out, anticorrosion protection, a way that equipment material behaves by changes in straining, regime and work conditions (warm and cold process regime) and a price have a crucial impact on reduction and elimination of critical spots and points in the process of food contamination.

Key words: constructive materials, risk factors, sanitary regulations, critical spots and points.

1. ZAHTJEVI I NORME U OBLASTI SIGURNOSTI HRANE

Zakonodavstvo EU za hranu zasnovano je na: a) Direktivi higijene prehrambenih proizvoda (Direktiva 93/43 EEC) kojom se opisuju opšta pravila i procedure za provjeru hrane kroz sve faze nakon primarne proizvodnje i b) Direktivi materijala u dodiru sa prehrambenim proizvodima (okvirna Direktiva 89/109 EEC) po kojoj su date grupe materijala i artikala

namijenjenih za procesne kontakte sa prehrambenim proizvodima. Kao što je poznato, HACCP sistem sigurnosti hrane zasnovan je na nizu preventivnih mjera i smanjuje zavisnost od kontrole i testiranja gotovog proizvoda pošto je primjenljiv kroz cijeli proces proizvodnje hrane. Rizici nastanka mjesta i uzroka onečišćenja hrane mogu biti: biološki, kao što su mikrobi, hemijski, kao što su toksini i fizički, kao što su metalni fragmenti, otkinuti komadi ili staklo. Danas su mikrobiološki i hemijski rizici od dominantnog interesa. Uočavanje opasnosti i određivanje kritičnih tačaka (CP) u procesima prerade, konzerviranja i distribucije hrane omogućeno je primjenom normi i načela u osiguranju te utvrđivanju kvaliteta i zdravstvene ispravnosti hrane.

2. ISTRAŽIVANJE FAKTORA IZBORA KONSTRUKCIJE MAŠINA I UREĐAJA

2.1. Bitni zdravstveni i sigurnosni zahtjevi konstruktivnih materijala

Mašine i uređaji namijenjeni za pripremu sirovina i njenu preradu (npr. kuhanje, hlađenje, topljenje, pranje, usitnjavanje, miješanje, sušenje, uparavanje, pakiranje, skladištenje, transport i distribucija), moraju biti konstruirane i izrađene tako da se izbjegne bilo kakav rizik od infekcije, bolesti ili zaraze. Identifikaciju ključnih uticaja na izbor konstruktivnih materijala možemo svesti na:

1. Uticaj hemijskog sastava i afiniteta tečnih i gasovitih materija na materijale dijelova opreme:
 - *kisele materije*, pokazuju agresivnost, nagrizzaju ugljenične čelike, prema nehrđajućim čelicima. Prema staklu i nekim plastičnim materijama imaju neagresivno djelovanje,
 - *bazne materije*, negativno djeluju prema aluminijumu i njegovim legurama.
2. Uticaj promjena temperature na materijale, tj. na naponska stanja i pojavu deformacija:
 - *visoke temperature* izazivaju znatne plastične deformacije, moguću promjenu unutrašnje strukture, uvećavaju aktivnosti pojave korozije i slabe mehanička svojstva,
 - *niske temperature* utiču na promjene u fizičkim karakteristikama, kao što je povećanje krtosti.
3. Uticaj vanjskih faktora (hemijski spojevi) na nastanak korozije:
 - *uticaj hemijskog sastava i kvaliteta površina* materijala i medija u dodiru,
 - *uticaj prašine* i atmosferilija na pojave korozije,
 - *uticaj abrazivnog djelovanja* čvrstih materija na radne površine.

Na osnovu iznešenog od konstruktora i tehnologa se zahtijeva pridržavanje slijedećih pravila:

- materijali koji su u dodiru ili je predviđeno da dolaze u dodir s prehrambenim proizvodima moraju zadovoljavati uslove propisane odgovarajućim propisima. Mašine moraju biti konstruisane i izrađene tako da se ti materijali mogu očistiti prije svake upotrebe,
- sklopovi moraju biti konstruirani tako da se na najmanju mjeru svedu izbočine, bridovi i udubine. Preporučuje se da se izrađuju zavarivanjem ili nerastavljivim spojevima. Ne preporučuje se upotreba vijčane ili zakovične veze, osim kad je to tehnički neizbježno.
- sve površine u dodiru s prehrambenim proizvodima moraju se lako čistiti i dezinficirati, kad je to moguće nakon uklanjanja dijelova koji se lako demontiraju. Unutrašnje površine moraju imati odgovarajuće poluprečnike zakrivljenosti kako bi se omogućilo temeljito čišćenje,
- mašine moraju biti konstruisane i izrađene tako da se spriječi ulazak bilo kakve tekućine ili živih bića, posebno kukaca, ili skupljanje bilo kakve organske tvari u područjima koja se ne mogu čistiti (npr. za mašine i uređaje koji nisu montirani na nogare ili točkiće), stavljanjem brtvenih elemenata,
- mašine moraju biti konstruisane i izrađene tako da nikakve pomoćne materije, kao što su sredstva za podmazivanje, ne mogu doći u dodir s prehrambenim proizvodima.

2.2. Uticajni faktori na izbor konstruktivnih materijala

Radna osposobljenost, funkcionalnost i dizajnerske odlike konstrukcije procesnih mašina se naročito odnose na zadovoljenje kriterijima sprečavanja nastanka mehaničke, biološke i mikrobiološke aktivnosti onečišćenja hrane. Osim hemijskih i tehnoloških svojstava procesno-konstruktivni uticajni faktori izbora materijala se mogu svesti na uticaje i pojave kao rizična mjesta nastanka onečišćenja hrane:

- vrsta, mehaničke osobine, otpornost na habanje i koroziju, statička i dinamička čvrstoća, površinska tvrdoća, elastičnost i tribološka svojstva, tj. kvaliteta obrade površina i trenje, spajanje i zaptivanje, površinska zaštita i prateće zaštitne mjere (toplotna izolacija, antikorozivna zaštita, unutrašnja zaštita, dilatacioni elementi i priključci),
- vrste i karakteristike tehnološke operacije ili procesa, kao što su: mehanička kretanja i obrtanja, hidrodinamička kretanja tečnosti (strujanja i energija tečnosti), kombinovani sistemi (energane, pogonske mašine na tečno gorivo i proizvodnju komprimiranog zraka), toplotni procesi (hemijske reakcije i sagorijevanje) te na kraju, indirektno biohemijski procesi (biohemijske transformacije materije),
- vrste i specifičnosti korozivskih i drugih oštećenja konstrukcijskih materijala u prehrambenoj industriji, termodinamički uslovi, mehanizmi i kinetika korozivskog procesa, uticaj korozivskog medija uslijed interakcija konstrukcijskih materijala i korozivskih medija u prehrambenoj industriji.

2.3. Faktori rizika izbora konstruktivnih materijala

Opšta podjela rizika kod izbora konstrukcionih materijala, a prema periodu nastanka i pojavljivanja, se može izvesti na: a) mehaničko-konstruktivne i b) mikrobiološke. U mjere mehaničke zaštite i eliminiranje opasnosti spadaju:

- a) rizici od površina, bridova ili uglova.* Koliko njihova namjena dopušta, dostupni dijelovi strojeva ne smiju imati oštre bridove, oštre kutove ni hrapave površine,
- b) rizik od lomova tokom rada.* Trajnost upotrijebljenih materijala mora odgovarati prirodni radne funkcije i radne sredine koje je predvidio proizvođač, osobito što se tiče pojave zamora, starenja, korozije i trošenja.

Industrijska primjena nauke o materijalima uključuje dizajn materijala, procesnu tehniku obrade i ugrađene sposobnosti. Metalni i nemetalni materijali u prehrambenoj industriji se prema mjestima i pozicijama primjene mogu svrstati u četiri grupe: *prva*, materijali elemenata i dijelova koji se nalaze u direktnom kontaktu sa prehrambenom sirovinom ili proizvodom te fluidima, *druga*, materijali za izradu kućišta, oklopa, postolja, obloga, nosećih konstrukcija i nosača, *treća*, građevinski materijali za izgradnju i uređenje objekata i radnih prostorija i *četvrta*, ambalažni, izolacioni i brtveni materijali te ljepljiva. Pojave radnih opterećenja uzimaju u obzir: a) vrste, intenziteti i učestalost pojava opterećenja, b) uzdužne i poprečne geometrijske presjeke i vanjske površine, c) vrste spajanja elemenata (vijčani, zakovični, zavareni i lijepljeni spojevi), d) dirigovani kvalitetarni površina, površinsku obradu i hrapavost te izolacioni materijali po osnovama toplotnog, hemijskog, elektrohemijskog i mehaničkog djelovanja. Pri tome, treba se obratiti posebna pažnja na aktivna procesna stanja u kojima oni mogu biti izloženi:

- *radno stanje* - odgovara normalnim radnim (pogonskim) uslovima, kao stalni režim rada (konstantna opterećenja i vibracije, ili intermitirajući režim rada sa promjenljivim nominalnim opterećenjima u vremenskim intervalima,
- *kritično stanje* - odgovara graničnim radnim uslovima, pri čemu se mogu pojaviti kritična opterećenja i oštećenja (kvarovi), koji za posljedicu imaju zastoj u radu mašine ili nepravilan i nepouzdan rad mašinskih dijelova i konstrukcija.

Pojave dodatnih opterećenja uslijed raznih poremećaja, npr. kod miješalica gustih i tjestastih masa (povećanje centrifugalne sile F_c , obrtnog momenta M_o ili mase m u intervalu Δt), u

postupku sječenja i usitnjavanja sirovina čvrstog materijala (promjene sile udara F_u , inercionog momenta J_o ili snage P), povećanje ili smanjenje temperature ($\pm \Delta t$) ili pritiska ($\pm \Delta p$), zahtijeva uvođenje stepena uravnoteženosti opterećenja (koristi se kao parametar u fazi konstruisanja procesne opreme):

$$s_{ur} = f_{ru} \cdot f_{nom} \quad \dots(1)$$

gdje je:

f_{ru} – faktor radnih uslova, kao parametar stanja očekivanih promjena opterećenja u radnim uslovima, kreće se od 1,0 do 2,5 ili čak do 10 i određuje se empirijski, eksperimentalno ili tabelarno,

f_{nom} – nominalna opterećenja koja daje proizvođač standardne opreme za tržište.

Osim stepena uravnoteženosti opterećenja u praksi se koristi stepen sigurnosti. Izbor stepena sigurnosti ovisan je od odnosa stvarnih i mogućih poremećajnih opterećenja i uticaja. Po pravilu uzima u obzir odnos granične čvrstoće materijala σ_M i stvarnog napona koji se uzima kao dozvoljeni napon σ_{doz} do kojeg mašinski dio smije biti izložen, tj:

$$\text{- krti čvrsti materijali: } v = \sigma_M / \sigma_{doz} \text{ ili } v = \sigma_M / \sigma_{max}; \quad v = \tau_M / \tau_{doz} \text{ ili } v = \tau_M / \tau_{max} \quad \dots(2)$$

Stepen sigurnosti prema granici razvlačenja ili tečenja σ_T :

$$\text{- elastoplastični materijali: } v = \sigma_T / \sigma_{doz} \quad v = \tau_T / \tau_{doz} \quad v = \tau_M / \tau_{max} \quad \dots(3)$$

Stepen sigurnosti se može dati i preko odnosa:

$$v = \frac{R}{\sigma} > 1 \quad \dots(4)$$

pri čemu treba da vrijedi odnos $v \geq v_z$ (zahtijevani stepen sigurnosti). Stepen sigurnosti kod složenih naprezanja, izražen preko odnosa normalnih σ i tangencijalnih naprezanja τ , te mjerodavnih karakteristika čvrstoće materijala na normalna naprezanja $v_\sigma = \frac{R_\sigma}{\sigma}$, isto i za

tangencijalna naprezanja $v_\tau = \frac{R_\tau}{\tau}$, se može dobiti iz izraza:

$$v = \frac{v_\sigma \cdot v_\tau}{\sqrt{v_\sigma^2 + v_\tau^2}} \geq v_z \quad \dots(5)$$

Do loma ili deformacije dolazi u slučajevima zamora tj. kada promjenljiva naprezanja u određenom periodu korištenja mašinskih dijelova prijeđu granicu dinamičke čvrstoće materijala (R_D). Određivanjem kritičnog koeficijenta intenziteta napona (k_{IC}) ili žilavosti loma, dobivamo mjeru otpora materijala prema razvijanju prskotine ili pukotine u uslovima površinske deformacije. Faktor opasnosti od krtog loma uslijed zamora npr. za zavarene spojeve predstavlja odnos:

$$f_{KL} = k \cdot p \cdot f_{ru} \cdot f_t \cdot f_p \quad \dots(6)$$

gdje je:

k – faktor konstrukcionog oblikovanja elementa, dijela ili konstrukcijske forme,

p – poziciona uloga dijela ili konstrukcije u procesnoj operaciji a prema karakteru opterećenja

f_{ru} – faktor naprezanja u radnim uslovima

f_t – faktor temperaturnog režima

f_p – faktor tlačnog stanja

Poznavanjem dozvoljenih i kritičnih fizičko-mehaničkih vrijednosti materijala k_{KS} , te stanje intenziteta opterećenosti i uslova odvijanja radne aktivnosti mašinskih dijelova k_{RS} , omogućava nam definiranje opšteg kriterijima radne sposobnosti sa relacijama:

$$k_{RS} < k_{KS} \Rightarrow \text{obavljanje funkcije rada}$$

3. METALNI I NEMETALNI MATERIJALI U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

3.1. Svojstva materijala

Danas u industrijskoj primjeni imamo četiri grupe materijala, i to: a) osnovni metalni materijali, b) legure (slitine), nastale od osnovnih materijala, c) nemetali i d) posebni materijali. U konstrukcijskom pogledu imamo čelik i njegove legure, obojene metale i njihove legure, tehničku plastiku, te gumu, tekstil, staklo i keramiku. Svi ovi materijali moraju zadovoljiti sigurnosnu funkciju kada su u upotrebi i čiji kvar ili neispravnost ugrožava sigurnost od dekontaminacije hrane. Najvažnije osobine konstruktivnih materijala su date u tabeli 1.:

Tabela 1. Najvažnije osobina konstruktivnih materijala.

MEHANIČKE	FIZIKALNE	HEMIJSKE	TEHNOLOŠKE
- čvrstoća	- toplotna provodljivost	- atomska težina	- način nastanka i proizvodnje
- tvrdoća	- električna provodljivost	- afinitet	- radna sposobnost
- elastičnost	- elektromagnetizam	- sastav i struktura	- trajnost u eksploataciji
- plastičnost		- bazični karakter	- otpornost na habanje
- žilavost		- kiselinski karakter	- postojanost
- gustina		- otpornost prema koroziji	- obradivost i kompatibilnost sa drugim materijalima u vezi
- fizička građa		- sposobnost legiranja i zaštite	
- doz. naprezanja			

Proizilazi, da ne smiju biti korišteni oni materijali koji otpuštaju sastojke štetne za zdravlje ili u količinama štetnim za zdravlje i da nepovoljno utiču na organoleptička, fizikalna i hemijska svojstva hrane.

Tabela 2. Otpornost nekih materijala prema procesnim pojavama.

OTPORNOST NA:	MATERIJAL				
	Ugljični čelik 0,17 ÷ 0,23 C 3 ÷ 6 Mn > 0,04 P < 0,05 S	Nehrđajući čelik 17,5÷20 Cr 8÷11 Ni < 2 Mn < 1 Si	Sivi liv 3,6÷4,0 C 2,4÷2,6 Si 0,5÷0,7 Mn	Legirani aluminijum 4,4 Cu 1,5 Mg 0,6 Mn	Mesing 60 Cu 36 Zn 3 Pb
- oksidaciju (500 °C)	D	VD	D	VS	S
- habanje	VD	D	VD	S	VD
- vodu					
- slatka	D	VD	D	VD	VD
- slana	S	VD	S	D	VD
- organske rastvore	VD	VD	VD	VD	VD
- jake lužine	SL	D	SL	VD	SL
- slabe kiseline	S	VD	D	VD	D
- slabe baze	D	VD	VD	D	VD

Oznake: VD –vrlo dobra, D –dobra, S –srednja, VS –vrlo slaba, SL –slaba

3.2. Korozija i zaštitne mjere kod metala i legura

Zaštita od korozije metalnih materijala se može izvesti putem površinskih prevlaka i putem legiranja. U savremena sredstva zaštite spadaju metalne prevlake i prevlake emajlima, koje imaju bolja adhezivna svojstva. *Difuzione prevlake*, predstavljaju zaštitu metala od korozije legiranjem površinskih slojeva (hromiranje, nitriranje), pri čemu se na slojevima obrazuju čvrsti rastvor soli ili hemijska jedinjenja. *Tople prevlake*, kod kojih je najčešći oblik pocinčavanje, pri čemu cink dobro štiti metal od korozije. *Galvanske prevlake* se dobijaju pomoću galvanskog procesa, u kojem je jedna elektroda metal koji treba zaštititi, a druga metal prevlake. *Bronziranje i niklovanje* metala se upotrebljavaju kao dekorativno-zaštitne

prevlake. Kod zaštite metalnih dijelova od kiselinske korozije upotrebljavaju se aldehidi, alkaloidi, bjelančevine. Koroziju kod čeličnih materijala možemo spriječiti na dva načina:

a) *slojevanjem*, čelik prekrivamo različitim slojevima drugih materijala kao što su npr. kalaj ili cink ili pak plastiku ili boju. Čelične limenke obično su tretirane kalajem kako bi sačuvala hranu s unutarnje strane te da s vanjske strane ne bi hrđale.

b) *legurama*, dodajemo hemikalije koje mogu promijeniti svojstva čelika. Nehrđajući čelik sadrži elemente hroma, nikla i molidbena koji ga čine otpornim na hrđu.

Tabela 3. Otpornosti nehrđajućih čelika na koroziju u kontaktu sa medijem.

Oznaka čelika	VRSTA MEDIJA													OSOBINE		
	ocat	hlor	mliječna kiselina 5%	solna kisel. komercijalna	sumpor. kiselina 90%	butan	glukoza	mlijeko	živi kreč	pivo	benzin	kvasac	biljna i miner. ulja	t _{min} °C	t _{max} °C	Izduženje A %
Č. 4580	pp	n	pp	n	n	pp	pp	pp	pp	pp	pp	pp	pp	-273	750	30
Č. 4573	pp	n	pp	n	dp	pp	pp	pp	pp	pp	pp	pp	pp		do	do
Č. 4174	pp	n	dp	n	n	pp	pp	pp	dp	-	pp	-	pp		925	57

Oznake: pp –potpuno postojan, dp –djelimično postojan, n –nepostojan, - –nepoznato

4. ZAKLJUČAK

Izbor konstruktivnih materijala za izradu dijelova i sklopova mašina, uređaja i pomoćne opreme ovisan je od niza uticajnih faktora vezanih za vrstu i kvalitet materijala, vrste medija i materija koje se nalaze u dodiru, procesnih aktivnosti, radne sredine, uslova i režima odvijanja proizvodnih operacija. Radna i kritična opterećenja dijelova i površina izloženih naprezanjima, trenju i agresivnom djelovanju medija utiču na stvaranje potencijalnih mjesta kontaminacije hrane. Ugrađene sposobnosti i primijenjene mjere poboljšanja i zaštite odabranih materijala u fazi nastanka, daju realne pretpostavke za eliminaciju i/ili umanjeње kritičnih mjesta i pozicija nastanka onečišćenja hrane kroz tehnološke tokove prerade. Ostaje nepoznat uticaj trošenja metalnih površina radnih elemenata, korozionih procesa, zamora materijala (krti lom) i posljedica održavanja u toku višegodišnje eksploatacije mašina, uređaja i pomoćne opreme a koja se i dalje koristi u procesu.

5. LITERATURA

- [1] T. Filetin., Pregled razvoja i primjene suvremenih materijala, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju Zagreb, 2000.,
- [2] Esih I., Osnove površinske zaštite. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 2003.,
- [3] Halilagić R., Metodička zbirka riješenih zadataka iz otpornosti materijala, Tehnički fakultet Bihać, 2004.,
- [4] Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti predmeta koji dolaze u neposredan dodir s hranom, Narodne novine br. 46/04, Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi, Zagreb 2004.