

## FLEKSIBILNI KABLI

Andrej ZIDAR  
HENNLICH d.o.o.

### POVZETEK

*Vsak »finožilni« kabel je fleksibilen, kar pa še ni zagotovilo, da ga lahko podvržemo neprestanemu upogibanju ali da je primeren za uporabo v energetskih verigah. Za takšno uporabo mora imeti kabel pravilno strukturo in mora biti izdelan iz odgovarjajočih materialov. Izpolnjevati mora 7 pomembnih pogojev, ki mu omogočajo odpornost na trajno upogibanje in s tem dolgo življenjsko dobo. Pri tako zasnovanih kablilih ne pride do poškodb in s tem ne povzročajo zastojev v proizvodnji, niti dodatnih stroškov zaradi izpada proizvodnje in servisiranja oz. menjave kablov.*

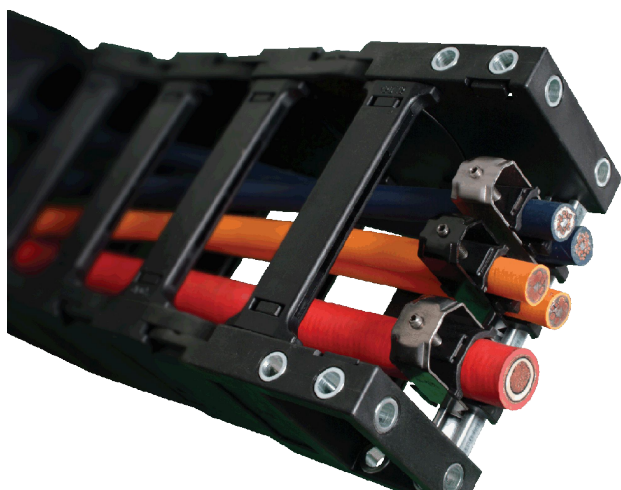
*Število vodnikov in njihove preseke hitro določimo. Vendar, če nimamo bogatih izkušenj, imamo lahko problem pri določitvi ostalih parametrov, ki jih mora imeti kabel kot celota. Pri tem nam pomaga RTO klasifikacija, s katero hitro in enostavno ugotovimo, kateri kabel ustreza našim zahtevam.*

*Namen prispevka je informirati, da oznaka fleksibilen kabel še ni zagotovilo, da bo tak kabel (trajno) odporen na prepogibanje.*

### 1. UVOD

Izraz fleksibilen kabel še ne pomeni, da je kabel res primeren za dolgotrajno upogibanje v energijskih verigah in drugod, kjer prihaja do gibanj in pospeškov kablov.

premikajo drug ob drugemu. Da kabel zdrži te napetosti, morajo biti vodniki iz dobrih materialov, pravilno grajeni, s kvalitetno izolacijo in primernim opletom. Pomembno je tudi jedro kabla in notranji plašč, ki drži kable na mestu.



Slika 1: pravilno razporejeni in pritrjeni kabli v energijski verigi



Slika 2: zviti in prepleteni kabli

Pri gibanju namreč na kabel delujejo različne sile. Pri pospeških nastajajo natezne, pri pojemkih pa tlačne sile, kot tudi pri upogibanju, na zunanji strani kabla pride do natega, na notranji pa do tlaka. To povzroča, da se vodniki v kablu ves čas

Kabel mora zdržati tudi vplive okolja, kot so temperatura, prah, ostružki in opilki, olja, prisotnost kemikalij, UV sevanje in drugo. Pred vsem tem vodnike varuje zunanji plašč.

## 2. ZAKAJ JE IZBIRA PRAVEGA FLEKSIBILNEGA KABLA POMEMBNA

Največ težav in s tem povezanih stroškov nastopi, ko nam nekaj zmoti ali ustavi proizvodni proces. Navadno so to okvare oz. poškodbe gibljivih delov. Med njimi pogosto naletimo tudi na poškodovane kable.

Najpogosteje se poškodbe kablov kažejo kot obrabljeni ali počeni plašči, kot zvijanje kablov ali kot bule pod plaščem kabla. Neredko so vodniki prekinjeni, čeprav od zunaj ni vidnih sledi.



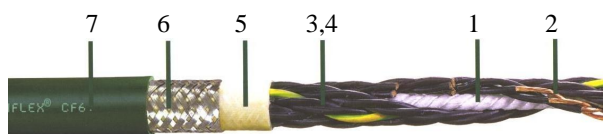
Slika 3: pogoste napake  
- zvijanje kabla in bule zaradi vodnika, ki se je prepletel s sosednjim vodnikom  
- počen plašč zaradi tlaka v osni smeri  
- počen plašč zaradi torzije

Napaka zaradi nepravilnega oz. napačno izbranega kabla nam lahko povzroči precejšnje stroške:

- stroj stoji, izpad proizvodnje
- delavci stojijo, plačati jih moramo vseeno
- stroški servisa
- ponoven nakup kabla!!! in ostalih materialov

Vsemu temu se lahko izognemo, če upoštevamo 7 lastnosti, ki jih mora imeti dober fleksibilen kabel in si pri izbiri pomagamo z RTO klasifikacijo.

## 3. 7 LASTNOSTI DOBREGA FLEKSIBILNEGA KABLA



7      6      5      3,4      1      2  
zunanjí oklop notranji vodnik jedro žica  
plašč (oplet) plašč oz. snop (žičke)

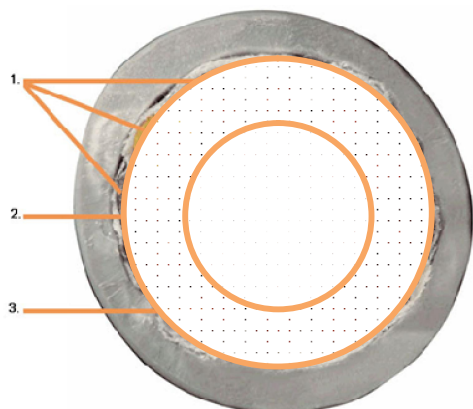
Slika 4: gradniki kabla

Fleksibilni kabli se uporabljajo predvsem v energijskih verigah, navijalnih bobnih in na drugih področjih, kjer prihaja do gibanj in pospeškov kabla.

Najboljši fleksibilni kabli imajo pri trajni uporabi upogibni radij enak 5-kratniku premera kabla ( $5 \times d$ ) ali celo manj, zdržijo hitrosti 10 m/s in pospeške 50 m/s<sup>2</sup> ter so dovolj fleksibilni tudi pri minus 40°C. Njihova življenjska doba je od 1 do več 10 milijonov dvojnih hodov.

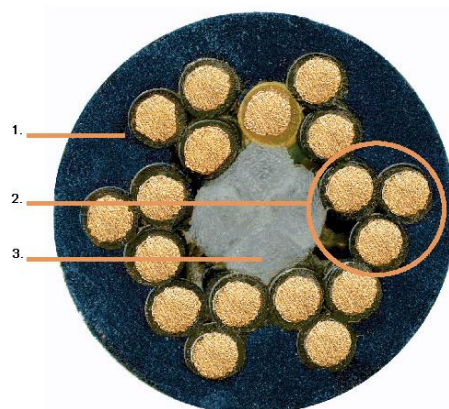
### 3.1 JEDRO, KI PREVZEMA NATEZNO SILO

Odvosno od števila vodnikov in njihovega preseka nastane pri izdelavi kabla v sredini nezaseden prostor. Tega je potrebno zapolniti z ustreznim središčnim jedrom in ne, kot se pogosto dogaja, z raznimi polnili ali slepimi žilami iz odpadnega materiala. Središčno jedro mora biti iz materiala, ki ni raztegljiv in stisljiv. S tem po eni strani preprečuje daljšanje kabla (zaradi lezenja bakra) po drugi strani preprečuje tudi deformacijo strukture zunanjih vodnikov in sicer tako, da preprečuje zunanjim vodnikom prodiranje proti sredini kabla.



Slika 5: Primer kabla, ki nima optimalnih rešitev jedra, vodnikov in plašč; običajna kolobarjasta struktura

1. Koprana, ki drži vodnike skupaj
2. Ekstrudirano jedro brez natezne trdnosti
3. Žičke so zelo drobne in se sukajo na redko (na dolgi razdalji)



Slika 6: Primer dobre izvedbe fleksibilnega kabla; posebna snopasta struktura

1. Material odporen na obrabo objema vodnike
2. Snopi posameznih vodnikov, ki so sukani na gosto (na kratki dolžini)
3. Čvrsto neraztegljivo jedro, preprečuje raztegovanje kabla

### 3.2 ŽICA - OSNOVNI GRADNIK VODNIKOV

Pri izboru osnovnega gradnika za vodnike (bakrene žice oz. žičke) se največja gibkost ne izkaže kot najboljša rešitev. Z zelo tankimi posameznimi žicami (žičkami) resda dobimo zelo gibke vodnike, vendar se žičke, ko so obremenjene z nategom, hitro pretrgajo in se pri tlaku rade preganejo-zalomijo. Hkrati se taki vodniki pogosto prepletajo in tvorijo zanke vidne kot bule pod plaščem kabla. Poskusi so pokazali, da je najbolj trajna rešitev kombinacija žic (žičk) različnih premerov, ki so sukane oz. spletene na različni dolžini in v različnih smereh.

### 3.3 IZOLACIJA VODNIKOV

Materiali za izolacijo morajo biti takšni, da se vodniki znotraj kabla ne »lepijo« med seboj. Izolacija ima tudi nalogo, da nudi oporo posameznim žičkam vodnika. Zato se v ta namen uporablja le najbolj kakovostne materiale iz PVC ali TPE.

### 3.4 OPLETENJE

Če vzamemo dve vzmeti enakega preseka, bomo laže upognili tisto, ki ima manjši korak (je bolj gosto navita). To dejstvo se upošteva tudi pri fleksibilnih kablilih. Vodnik mora biti na ustrezno kratki dolžini ovit okrog čvrstega jedra.

Če ima kabl več kot 12 vodnikov, jih je potrebno spletati v snope. Snopi so v tem primeru oviti okoli glavnega jedra in to v obratni smeri kot vodniki v snop. Struktura vodnikov v kablilu je tako enaka razporeditvi žic v jekleni pletenici. S tem se hkrati prepreči raztegovanje in torzijsko zvijanje kabla.

Princip gosto navite vzmeti medsebojno izniči tlak in nateg, ki deluje na vodnike v kablilu. Vodnik je v tem primeru na kratki razdalji podvržen tako tlaku kot nategu. Zaradi sil, ki pri tem nastanejo, vodnik zdrsne za 0,1 mm do nekaj mm iz področja tlaka na področje natega in s tem izniči sile, ki delujejo naj. Torej je vodnik popolnoma razbremenjen sil. S tem še dodatno preprečeno lezenje bakra in želja po sukanju zaradi torzije.

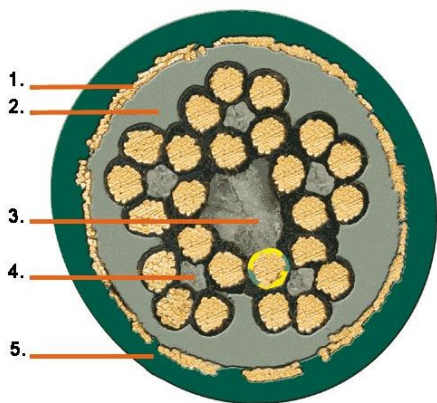
### 3.5 NOTRANJI PLAŠČ

Namesto povijanja vodnikov s ceneno kopreno, mora biti notranji plašč iz materiala ekstrudiranega pod visokim tlakom, da zapolni reže med vodniki. To zagotavlja, da ima vsak vodnik svoj kanal, v katerem se lahko prosto giblje.

Da je trenje med izolacijo vodnika in notranjim plaščem čim manjše, je zagotovljeno z izborom materialov in dodatnim »mazanjem« s smukcem.

### 3.6 OKLOP

Zunanji oklop (oplet) mora imeti optimiran kot prepletanja, ki je 75° (pri manj fleksibilnih je običajno 35° - velja isto kot pri vzmeti). Oklop mora tesno nalegati na notranji plašč iz ekstrudiranega materiala. Razrahljane, razprte ali celo zapletene žice opleta občutno oslabijo zaščito pred elektromagnetnimi motnjami. Le ta je še slabša v primeru trganja žic v opletu. Manjši kot je kot oklopa, večja je verjetnost trganja. Tesno prepleten oklep dodatno ščiti strukturo vodnikov pred torzijo.



Slika 7: PrIMER fleksibilnega kabla z oklopom

1. Oklop z optimalnim kotom prekrivanja (ca 70% linearno, ca 90% optično)
2. Ekstrudirano polnilo (notranji plašč) onemogoča zapletanje vodnikov
3. Čvrsto neraztegljivo glavno jedro
4. Čvrsto neraztegljivo jedro v snopu
5. Zunanji plašč ekstrudiran pod tlakom

### 3.7 ZUNANJI PLAŠČ

Material zunanjega plašča mora biti izbran glede na zunanje vplive (olje, kemikalije, UV, nizka oz. visoka temperatura ...). Vsi materiali za zunanji plašč morajo imeti nekaj skupnega:

Biti morajo zelo odporni proti obrabi. Kajti ves čas se drgnejo med seboj oz. ob energijsko verigo.

Imeti morajo nizek koeficient trenja in se ne smejo »lepiti«.

Material plašča mora biti gibek in mora obenem nuditi oporo vodnikom v svoji sredini.

Kadar ni oklopa mora biti material ekstrudiran pod tlakom, tako da zapolniti reže med vodniki.

Najpogosteje uporabljeni materiali za zunanji plašč so PVC, PUR ali TPE.

## 4. RTO KLASIFIKACIJA

RTO klasifikacija razdeli kable glede na njihov namen oz. področje uporabe. Pri tem se ozira na naslednje 3 prametre:

- zahteve (R - Requirements)
- hod (T - Travel) in
- odpornost na olje (O - Oil resistance),

Tako lahko hitro in enostavno ugotovimo, kateri kabel ustreza našim zahtevam in se izognemo kasnejšim zapletom.

### 4.1 »R« ZAhteVE (1 do 7)

1. fleksibilni (upogljivi) kable
2. zelo fleksibilni (upogljivi) kable
3. fleksibilni kable brez posebne strukture primerni za uporabo v energijskih verigah
4. fleksibilni kable s posebno (snopasto) strukturo za permanentno gibanje v energijskih verigah, srednje obremenjeni: radij 7,5 x d, hitrost do 3 m/s
5. fleksibilni kable za permanentno gibanje v

energijskih verigah, zelo obremenjeni: radij 6,8 x d, hitrost do 10 m/s

6. fleksibilni kabli za permanentno gibanje v energijskih verigah, zelo obremenjeni: radij 5 x d, hitrost do 10 m/s

7. fleksibilni kabli za permanentno gibanje v energijskih verigah, zelo obremenjeni: radij 4 x d, hitrost do 10 m/s in več, uporaba na prostem

#### **4.2 »T« HOD (1 do 4)**

1. za nepodprte verige
2. za nepodprte verige in verige, ki drsijo same po sebi do 50 m
3. za nepodprte verige in drseče od 50 do 100 m
4. za nepodprte verige in drseče do 400 m in več

#### **4.3 »O« ODPORNOST NA OLJE (1 do 4)**

1. ni odporen na olje
2. delno odporen na olje, po DIN EN 60811-2-1, DIN EN 50363-4-1
3. srednje olje-odporen, po DIN EN 60811-2-1, DIN EN 50363-10-2
4. dobro odporen na olje, po DIN EN 60811-2-1 in odporen na bio olje po VDMA 24568

## **5. ZAKLJUČEK**

Kabli so majhen a pomemben del pri vsakem stroju in predstavljajo majhen znesek ob nabavi, lahko pa zaradi napačne izbire, ali varčevanja ob nakupu povzročijo zastoje in nepotrebne stroške. 7 lastnosti dobrega fleksibilnega kabla in RTO klasifikacija sta prava pot k pravilnim odločitvam in lažji izbiri kablov.