

## **Jeklo za sidrne verige višjih kvalitet**

F. Legat<sup>1)</sup>

### **UVOD**

Jeklene verige uporabljamo v različne namene: privezovanje, nošenje, vlečenje, za vožnjo v snegu, zaščitne verige, sidrne verige in še v vrsti gospodarskih dejavnosti kot nenadomestljiv element v nekaterih tehnoloških procesih.

Verige iz okroglega jekla zato delimo v:

1. verige za splošno uporabo,
2. tehnične verige,
3. sidrne verige.

Verige za splošno uporabo so različne vrste prirejenih in opremljenih verig z različnimi členi, kavlji in obroči. Členi teh verig so različnih dimenzij in oblik. Verige so običajno preizkušene in toplotno neobdelane.

K tem verigam spadajo tudi snežne verige, ki omogočajo vožnjo avtomobilov v snegu in ledu. Snežne verige se izdelujejo po dimenzijah in vzorcih plaščev za avtomobilska kolesa, pa tudi po teži in moči vozila. Prav ta teža vozila močno vpliva na premer jekla, ki se za verigo uporablja.

Danes se snežne verige izdelujejo iz mikrolegiranih jekel, so kalibrirane in toplotno obdelane. Toplotna obdelava vsebuje obogatitve površine s C ali N in poboljšanje te površine na primerno trdoto. S tem povečamo obrabno trdnost členov in življenjsko dobo verige.

Tehnične verige uporablja predvsem industrija. Uporaba teh verig je zelo različna in so z različnimi standardi določene tako glede:

- dimenzij,
- oblik,
- mehanskih lastnosti,
- načina preizkušanja in
- uporabe.

Ker JUS standardi še nimajo urejenih svojih oznak za vsa jekla, iz katerih se te verige izdelujejo, uporabljamo v praksi poleg JUS-a tudi DIN norme, ki jih navajata spodnji dve razpredelnici.

Vrsta verige JUS, DIN	Material po DIN 17115	Toplotna obdelava
762	UR St 35-2	normalizacija skupina
763	St 35-3	normalizacija navadnih
764	R St 41-2	normalizacija tehničnih
766	St 41-3	normalizacija verig
764	15 Mn 3 Al	kaljenje ali poboljšanje
765	21 Mn 4 Al	kaljenje ali poboljšanje

Vrsta verige DIN	Material po DIN 17115	Toplotna obdelava	
5684	20 NiCrMo 3	poboljšanje	skupina verig višjih trdnosti, visokoodporne verige, rudarske verige-C
5687	20 NiCrMo 3	poboljšanje	
5684	23 MnNiCrMo 52	poboljšanje	
5687	23 MnNiCrMo 53	poboljšanje	
22252	23 MnNiCrMo 54	poboljšanje	

UR — nepomirjeno jeklo

R — pomirjeno jeklo (s Si ali Al)

### **SIDRNE VERIGE:**

Sidrne verige so verige, ki jih uporabljamo za sidranje ladij na rekah ali morju in ploščadi za dela na morju. Te vrste verige izdelujemo v dimenzijah od premera 12 mm do 180 mm.

Poleg verig pa izdelujemo tudi opremo, ki pride v kompletu skupaj s sidrom na ladjo.

Običajno so sidrne verige v dveh izvedbah. Člen verige ima vgrajeno prečko ali mostiček; druga vrsta pa so členi brez mostičkov.

Pri rečnih ladjah so pogoji uporabe verige drugačni, zato so te verige tanjše in navadno brez mostičkov.

Sidrne verige delimo glede na minimalno garantirano natezno trdnost (min R m) v štiri kvalitetne stopnje:

- I. min R m = 400 N/mm<sup>2</sup>
- II. min R m = 490 N/mm<sup>2</sup>
- III. min R m = 690 N/mm<sup>2</sup>
- IV. min R m = 860 N/mm<sup>2</sup>

Vse sidrne verige so toplotno obdelane, le verige stopnje I. so toplotno neobdelane — surove; verige II. stopnje se normalizirajo, stopnje III pa se lahko normalizirajo ali poboljšajo, IV. stopnje pa samo poboljšajo.

Za izdelavo sidrnih verig veljajo predpisi in norme zavarovalnih družb, kot so: Lloyd Register, Bureau Veritas, Norske Veritas, American Bureau of shipping, Germanski Lloyd, Rina, Gost, Jugoregistar brodova itd.

Posebej pa imamo še razne norme DIN, RGW, v zadnjem času pa vedno več ISO norm, ki urejujejo tolerance in predpisujejo vse tehnične ter tehnološke lastnosti verig, postopkov in jekel.

Za boljše predstavitev navajam celotne podatke o sestavi jekla in o lastnostih za posamezne kvalitetne stopnje, ki jih daje Germanski Lloyd.

Kvalitetna stopnja po GL	Zrušilna trdnost R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Raztezek A <sub>5</sub> min. %	Zoženje Z min. %	Žilavost Temp. °C	J
K 1 a	330—450	30	—	—	—
K 1 b	400—520	25	—	—	—
K 2	490—640	22	—	0	27
K 3	690—840	17	40	0	59

<sup>1)</sup> Franc Legat — dipl. ing. met., Veriga Lesce

V zadnjem času se pojavlja še takoimenovana K 4 stopnja, vendar se še ne uporablja dosti. Ima pa naslednje zahteve:

	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	A <sub>5</sub> min. %	Z min. %	Žilavost Temp. °C	J
K 4	min. 860	12	40	0	59

Po kemični sestavi so jekla lahko različna, vendar je treba upoštevati naslednje mejne vrednosti:

Nam dosti poznani predpisi Germanskega Lloyd (GL) so:

	C %	Si %	Mn %	P % max.	S % max.	Al (topni)
GL-K 1 a	0.12	0.03—0.25	0.40—0.60	0.040	0.040	—
GL-K 1 b	0.17	0.03—0.25	0.40—0.60	0.040	0.040	—
GL-K 2	0.24	0.30—0.55	1.10—1.60	0.040	0.040	min. 0.015
GL-K 3	0.30	0.30—0.60	1.10—1.85	0.040	0.040	min. 0.015

Norma predlaga za posamezne kvalitetne stopnje verig v tabeli navedena jekla:

Kvalitetna stopnja:	Jeklo	Toplotna obdelava
K 1 a	R St 35.2	Toplotno neobdelan, normalizacija
K 1 b	R St 41-2	normalizacija
K 2	21 MnSi 5	normalizacija
K 3	27 MnSi 5	normalizacija; normalizacija in popuščanje; kaljenje in popuščanje

Druga varianta jekla za kvalitetno stopnjo K 3 je po njihovem predpisu St 52-3, po DIN 17100.

Pri nas se uporablja St 52 V, Č 8330 v normalizirani izvedbi. To jeklo je sicer dobro, vendar zahteva precejšnje čistočo in drobno sekundarno zrno, 8—10 po tabeli ASTM. Samo v taki obliki je dobro v normaliziranem stanju, sicer ga je treba poboljšati.

Za kvalitetno stopnjo K 4 mora biti jeklo poboljšano, to pomeni segreto na 880° C — ohlajeno v vodi in nato popuščano na 560—580° C.

Znana švedska firma za sidrne verige RAMNÄS pa je razvila še nekaj svojih kvalitetnih stopenj, ki imajo naslednje vrednosti:

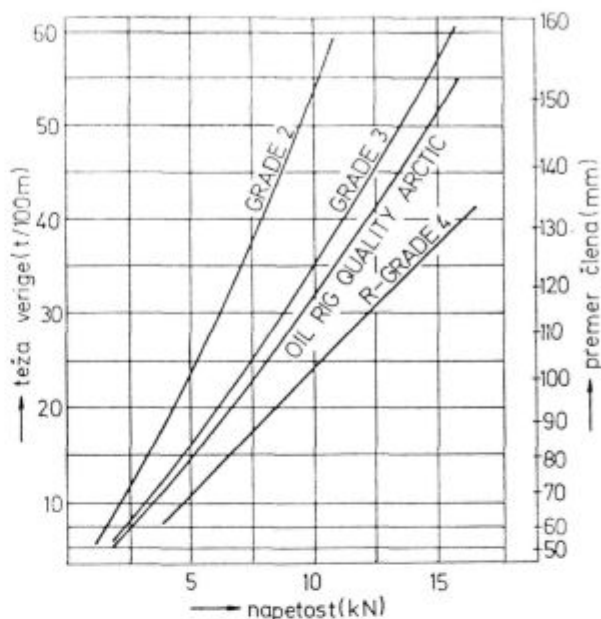
Oznaka, tip	Grade 3 Rig 6	Oil RIG Quality	Ramnäs Arctic	Grade 4 RIG
Trdnost R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	690	641	690	860
Meja elastičnosti Re N/mm <sup>2</sup>	—	—	—	580
Raztezek A <sub>5</sub> %	17	17	17	12
Kontrakcija Z %	40	40	50	50
Žilavost J	40 pri -15° C	58 pri 0° C	40 pri -30° C	40 pri -20° C

Zaradi primerjave verig po dimenzijah prilagam diagram vseh pomembnih kvalitet v originalu.

Seveda imajo Švedi za vse te svoje kvalitete posebej razvito jeklo. Verige so v glavnem poboljšane; to pomeni kaljene in popuščane. Mostički so lahko varjeni ali pa tako oblikovani, da se po poboljšanju še vedno lepo prilegajo in se ne premikajo. Nova neuradna obvestila različnih zavarovalnih družb varjenja ne priporočajo, ker se bojijo razpok pri varjenju mostičkov.

Pri teh odločitvah ima zelo pomembno vlogo »Ce« ekvivalent, ki se izračuna po posebni formuli in pomaga s svojo vrednostjo pri odločitvi.

Poseben poudarek pri jeklih je na čistoči in velikosti zrna; to velja v prvi vrsti za ARCTIC kvaliteto. Imeti mora visoko žilavost pri -30° C, kar pomeni nizek ogljik, višji Ni in dosti Al.



Vsa jekla za sidrne verige se lahko varijo po obžigalnem postopku, nižje dimenzije (do Ø26 mm) pa tudi elektrouporovno na topi način.

V obeh primerih je to varjenje brez dodatnega varilnega materiala, zato na kvaliteto in izdelavo vara vplivajo v glavnem:

- Stanje osnovnega materiala pred varjenjem:
  - kemična sestava materiala,
  - fizikalno-kemična konstitucija materiala,
  - struktura materiala, kristalna zgradba,
  - notranje napetosti v materialu.
- Najpomembnejši vplivni dejavniki varjenja:
  - količina dovedene varilne toplote (odvisno od načina varjenja),
  - velikost pritiskov pri varjenju,
  - dolžina obžiganja in stiskanja.
- Razni drugi vplivi:
  - debelina zvarnih elementov,
  - obdelava varilnih površin,
  - napake v osnovnem materialu itd.

Lastnost materiala, ki vpliva na varjenje, kvaliteto izdelanega vara in obnašanje vara v času eksploatacije, se imenuje varivost materiala. Glede na prej navedene lastnosti je varivost:

- operativna, kjer v času varjenja dosežemo v varu materialno kontinuiteto brez napak,
  - metalurška, ki se izraža v stopnji strukturnih sprememb v zvarni coni in
  - konstrukcijska, ki kaže ponašanje vara v uporabi.
- Kemična sestava materiala in varivost:  
Pri izdelavi verig sta pomembni operativna in metalurška varivost, ki sta precej odvisni od kemične sestave osnovnega materiala.

Osnovni material — jeklo pa je legura železa z ogljikom, manganom, silicijem, nikljem in drugih legirnih ter nekovinskih elementov (fosfor, žveplo, vodik, kisik, dušik). Na varivost materiala vpliva predvsem količina vsebovanega ogljika in drugih legirnih elementov. Količina ogljika povečuje pri varjenju nastajanje trdih in krhkih avstenitnih struktur v varu in zvarni coni materiala, in s tem večjo možnost zakalitve vara. Tudi drugi legirni elementi, ki so za kvaliteto jekla pozitivni, imajo vsak svoj vpliv na varivost, lastnosti materiala v varu in zvarni coni po varje-

nju. Zato jih količinsko v sestavi osnovnega materiala omejujemo.

Nekovinski elementi v osnovnem materialu imajo v vsakem primeru negativni vpliv na lastnosti jekla, kakor tudi na varivost. Če pri varjenju nastajajo plinski mehurčki iz nekovinskih elementov osnovnega materiala, je s tem operativna varivost materiala manjša.

Za merilo varivosti uporabljamo  $Ce_q$  — ekvivalent, ki ga izračunamo. Količino ogljika in legirnih elementov, ki vplivajo na varivost jekla, izražamo s  $Ce_q$  — ekvivalentom in služi kot merilo za njihovo skupno količino.  $Ce_q$  — ekvivalent lahko izračunamo iz enačb različnih avtorjev.

Za naša jekla za verige je še najboljša naslednja enačba:

$$Ce_q = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni + Cu}{40} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \%$$

C, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, Mo in V so procentni deleži sestavnega elementa v osnovnem materialu. Različne formule imajo različne mejne vrednosti za  $Ce_q$ .

Za navedeno velja: Če je  $Ce_q$  0,37, je jeklo dobro varivo. Če je vrednost presežena, je jeklo slabše varivo, obstaja možnost zakalitve vara, v varu in zvarni coni se pojavljajo napake — razpoke, ki so kasneje vzrok raznih porušitev. Formula je vzeta iz japonske literature in je praktično preizkušena. Objavljena je bila v reviji WIRE, letnik 1983.

Vzrok za nastanek razpok v varu pri ohlajanju vara je tudi prisotnost vodika in drugih nečistoč v osnovnem materialu. Nam najbolj povzročajo težave sarže, ki jih uporabljamo za kvalitetno stopnjo III.

Jeklo je legirano z Mn, delno Cr in Ni. Posebej pa ima še 0,08—0,11 % V.

Naša želja je, da dobimo gotovo verigo z vsemi lastnostmi, ki jih zahteva predpis že z normalizacijo po varjenju. To nam pri jeklu Č 8330 vedno ne uspeva, ker dobimo občasno po normalizaciji bainit ali so žilavosti pri 0° C slabše zaradi grobega zrna in vključkov. V poboljšani izvedbi so rezultati dobri, vendar je postopek dražji in vezan na nove peči.

Da se tudi ostali proizvajalci trudijo z jeklom nam kaže tudi primerjava jekel, ki jih uporabljajo za sidrne verige.

Za primerjavo prilagam analize, kemične sestave jekel Zapadne Nemčije, Švedske, ZDA in Poljske.

Dežela	Kemična sestava — %					
	C	Mn	Si	P <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>	Cr
ZRN	0,18	0,80	0,10	0,035	0,035	np
	0,24	1,00	0,20			
	0,18	0,70	0,15	0,035	0,035	np
	0,25	1,00	0,35			
ZDA	0,17	0,60	np	0,035	0,035	0,35
	0,24	0,95				0,65
	0,28	1,6	0,20	0,04	0,04	0,25
	0,33	1,9	0,35			
Švedska	0,3	1,5	0,4	np	np	np
	0,3	1,6	0,31	0,022	0,020	0,18

	Ni	Cu	Mo	V	Nb	Ostali
ZRN	np	np	np	0,017	np	—
	1,60 2,0	np np	0,2	np	np	—
ZDA	0,35	np	0,15	np	np	—
	0,70		0,25			
	0,40	0,35	0,08	0,10	0,05	—
Švedska	np	np	np	sledovi	—	—
	0,08	nb	nb	0,10		Al 0,023

Dežela — Poljska		Kemična sestava — %				
C	Mn	Si	P <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>	Cr	Ni
0,22	1,0	0,17	0,030	0,030	0,45	0,45
0,28	1,30	0,37			0,65	0,65
0,25	1,40	0,17	0,030	0,030	max.	max.
0,32	1,80	0,37			0,30	0,30
0,29	1,56	0,34	0,020	0,018	0,16	0,05
Mo	V	Al <sub>min</sub>	Cu <sub>max</sub>	N <sub>2</sub>	Al	Ce
0,20	—	0,02	0,20	0,009	0,08	0,47
0,30				0,015		0,54
—	0,05 0,12	0,02	0,20	0,009	0,08	0,40 0,015
0,04	0,10	0,02	0,05	0,0014	0,08	0,51

**ZAKLJUČEK**

Sidrne verige so se z leti spreminjale glede na trdnost osnovnega materiala. V letu 1960 smo poznali tri kvalitetne stopnje, vendar je najvišja segala do 630 N/mm<sup>2</sup> in je imela predpisano žilavost 28 J pri +20° C.

Danes poznamo že štiri stopnje; najvišja ima minimalno trdnost že 860 N/mm<sup>2</sup> pri žilavosti 59 J, 0° C. Poleg teh pa je še nekaj kvalitet, ki se nahajajo tudi v zgornjem razredu, imajo pa povečane druge lastnosti: raztezak, Re, žilavost ali korozijsko odpornost.

Prav proizvodnja takoimenovane stopnje III pa nam povzroča največ težav. Ladjedelniška industrija po cellem svetu je prišla do jekla St 52 V z dodatki Cr in Ni.

To jeklo se lahko uporabi le z normalizacijo kot končno toplotno obdelavo, kar močno poceni proizvodnjo. Če pa jeklo ni dovolj čisto in fino zrnato, je potrebno verige poboljšati. To pa ni več tako enostavno, če računamo, da ima garnitura pri verigi Ø 80 mm ca. 190 ton. Drugi problem pa povzročajo še prečke, ki se po poboljšanju zaradi toplotnih dilatacij začnejo premikati. Ta III. stopnja predstavlja danes 90 % vse proizvodnje verig, zato je še toliko bolj interesantna. Stojimo pred alternativno:

- razviti in dodelati jekla za normalizirani postopek izdelave,
- poboljšati gotove verige in predhodno variti prečke na člen.