

UDK 629.113:539.43

Nov postopek določanja raztrosa obremenitvenih kolektivov za izračunavanje zanesljivosti A New Method of Load Collective Scatter Determination for the Purpose of Calculation of Reliability

JANKO KERNC - MATIJA FAJDIGA

V prispevku je opisan neposreden postopek določanja raztrosov obremenitvenih kolektivov iz merilnih rezultatov in sklepanje o verjetnosti pojava posamičnega obremenitvenega stanja med dejanskim obratovanjem. Ta metoda ne upošteva le ekstremnih vrednosti in linearnega poteka kolektivov, tako kakor standardne kombinirane metode. Njena prednost je v tem, da intenzivno izkorišča veliko količino merilnih rezultatov, dobljenih med resničnim obratovanjem v različnih razmerah oziroma režimih. Ti podatki zadoščajo za izračun obremenitvenih kolektivov oziroma njihovega raztrosa z razmeroma veliko zanesljivostjo. Po analitični poti se določajo le še parametri porazdelitvenih funkcij obremenitvenih kolektivov. Te se uporabljajo za izračunavanje verjetnosti pojava določenega obremenitvenega stanja, oziroma ob upoštevanju raztrosa zdržljivosti materiala, za določevanje verjetnosti okvare, to je nezanesljivosti konstrukcije.

The paper describes a direct method for scatter calculation of load collectives from measurement results, and load state realization probability during actual use. Unlike conventional methods, this procedure does not take into account only extreme values and linearized load collectives. Its advantage is extensive use of a large quantity of measurement results made under various operation conditions, thus increasing the computation result reliability. Analytical methods are used only for the computation of parameters of load collective distribution functions, that are later used for the computation of failure probability.

0 UVOD

Raziskave raztrosa obremenitvenih kolektivov napetostnega in deformacijskega stanja v dejanskih obratovalnih razmerah so eden najpomembnejših parametrov za določanje zanesljivosti, predvsem pri močno dinamično obremenjenih konstrukcijah, kakor so vozila. Dosedanje analitične metode določanja raztrosov obremenitvenih kolektivov, oziroma verjetnosti pojava določenega obremenitvenega stanja med obratovanjem so se izkazale kot pre-malo zanesljive. Njihova zanesljivost se precej poveča z večjo uporabo merilnih rezultatov.

1 POSTOPKI DOLOČANJA ZANESLJIVOSTI KONSTRUKCIJ

Osnovna definicija zanesljivosti tehničnega sistema pravi: zanesljivost sistema pomeni verjetnost, da bo sistem v vnaprej določenih zunanjih razmerah opravljal svojo funkcijo v okviru podanih toleranc delovanja [14].

Pri obravnavi definicije zanesljivosti oziroma nezanesljivosti tehničnega sistema se omejimo na primere mehanskih poškodb (lomov, plastifikacij materiala, poškodb površine, itn.) konstrukcije. Nezanesljivost konstrukcije bo torej v nadaljevanju pomenila verjetnost poškodbe oziroma odpovedi delovanja materiala v znanih obratovalnih razmerah.

0 INTRODUCTION

Investigations of load collectives of stress-strain state during actual operation are one of the most important topics for the determination of reliability. This is especially true in designs with prevailing dynamic loads, e.g. road vehicles. Currently established analytical methods for the determination of probability of load occurrence during operation do not prove to be sufficiently reliable. Their reliability increases strongly with the intensive use of measurement results.

1 METHODS FOR THE DETERMINATION OF DESIGN RELIABILITY

The basic definition of reliability of a technical system says: Reliability of a system is the probability that the system function within pre-set tolerance limits, and in the environmental conditions considered in the initial design [14].

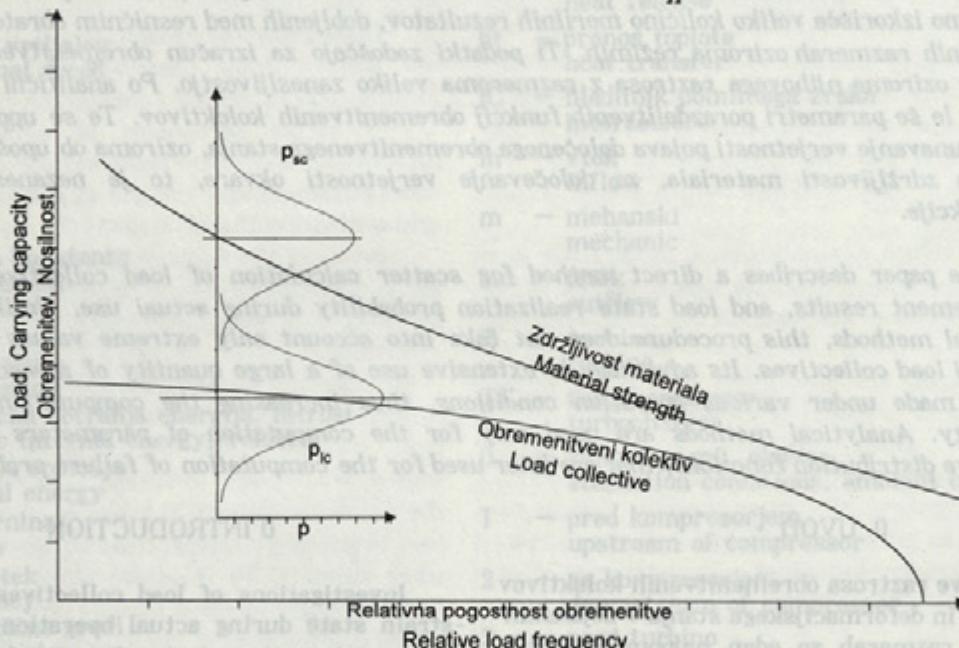
For the purpose of mechanical designs we may assume that the un-reliability of the design is the probability of a kind of mechanical failure occurrence (breakdown, material plastification, surface damage, etc.), depending on the design purpose and function.

Pri izbiri vplivnih dejavnikov se omejimo na dva glavna: nosilnost materiala (pri strojnih konstrukcijah je to v pretežni meri jeklo) in dejansko obremenitev konstrukcije.

Če želimo določiti zanesljivost konstrukcije, moramo določiti oba verjetnostna prostora (sl. 1): verjetnostni prostor mogočih obratovalnih obremenitev p_o in verjetnostni prostor pričakovane nosilnosti (zdržljivosti) materiala p_N . Njun presek p_{ok} je ekvivalenten verjetnosti okvare, torej ekvivalenten verjetnosti, da bo v času I_h na izdelku prišlo do okvare.

We will consider only the two most influential factors: strength (or carrying capacity) of the material used (steel in most mechanical structures), and the actual load of the design during operation.

For the purpose of reliability determination, we must first determine both probability domains (Figure 1): the domain of possible operation loads p_o , and the probability domain of expected strength (load carrying capacity) of material p_N . Their interference p_{ok} is equivalent to the probability of failure of the structure during the lifetime I_h .



Sl. 1. Nosičnost materiala in dejanske obremenitve pri dinamično obremenjenih konstrukcijah

Fig. 1. Material carrying capacity and actual loads on dynamically loaded structures

Glede na to, da so podatki o zdržljivosti materiala največkrat zelo podrobno predstavljeni v literaturi (atlasi materialov), se tu osredotočimo na določevanje in vrednotenje obremenitev, ki se pojavljajo med dejanskim obratovanjem.

1.1 Meritve dejanskih obremenitev

Določevanje verjetnostnega prostora obremenitev, to je verjetnosti, da se bo določeno obremenitveno stanje med obratovanjem res pojavilo, je po analitični poti mogoče v redkih primerih [14], pa še v teh primerih je zanesljivost rezultata vprašljiva. Zato je bil na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani izdelan merilni sistem [14], ki omogoča dobivanje velike količine časovno odvisnih informacij o obremenitvah konstrukcije.

The material data are usually very well covered in the literature (data from independent material testing laboratories), therefore our main subject will be the acquisition and processing of the load data during actual operation.

1.1 Measurement of actual loads

Determination of the probability domain of loads, i.e. the probability that a certain stress state will occur during operation can seldom be made in the analytical way [14], and even in these cases the reliability of the result is questionable. At the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana we have built a dedicated measurement system [14], for the acquisition of a large quantity of time dependent information on structure loads.

Njegova sestava je prilagojena serijskemu delu v terenskih razmerah merjenja. To je vidno tako v sestavi vključene strojne opreme kakor tudi v izvedbi celotnega programskega paketa, ki pomeni centralno orodje za pridobivanje podatkov o obremenitvah konstrukcije.

Strojna in programska oprema vhodnih modulov sistema je sestavljena tako, da podpira zelo široko paletu merilnih zaznaval, od uporovnih tenzometrskih, različnih konfiguracij induktivnih in kapacitivnih odjemnikov, do piezoelektričnih zaznaval. Frekvenčna območja obsegajo frekvence bistvene za trdnost predvsem kovinskih materialov in nekaterih pomembnejših nekovinskih gradiv, pomembnih pri strojnih konstrukcijah.

Rezultat merjenja so časovni potek obremenjevanja posamičnih merilnih mest v različnih obratovalnih razmerah. Taka oblika za določanje zanesljivosti seveda še ne zadošča. Zato jo je treba ustrezno preoblikovati. Temelj določanja verjetnosti okvare in s tem tudi zanesljivosti konstrukcijskega elementa so obremenitveni kolektivi [19], ki so rezultat takega preoblikovanja. Za izdelavo obremenitvenih kolektivov iz časovnih potekov so uporabljeni delno standardizirani postopki oziroma števne metode [17], [20]. Močna računalniška podpora, ki je bila postavljena in preverjena na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani, omogoča nadaljnje delo po nekoliko drugačni poti.

2 IZRAČUNAVANJE VERJETNOSTI POJAVA OBREMETITVENEGA STANJA MED OBRATOVANJEM

Običajen način sklepanja o verjetnosti pojava obremenitvenega stanja med obratovanjem, opisan npr. v [8], temelji na teoriji »porazdelitve ekstremov«, ki jo je razvil E. J. Gumbel, ter teoriji »periode vračanja«. Po tem postopku je naključne obremenitve treba spremeniti v obremenitvene kolektive.

Ker pa je za sklepe o raztrosu obremenitvenih kolektivov treba opazovati samo njihove skrajne vrednosti, je tako sicer mogoče določiti na primer 10, 50 in 90-odstotno lego obremenitvenega kolektiva z dvema značilnostima:

- Obremenitveni kolektivi za različne izvedbe (npr. 10, 50 in 90 odstotkov) so lahko konstruirani samo za skrajnosti in so lahko samo linearni v kateremkoli koordinatnem sistemu. Močno so odvisni od števila vzorcev. Raziskave [7] do [11], kažejo, da je linearost največkrat zelo grob približek dejanskim izmerkom (obremenitveni kolektivi so običajno močno ukrivljeni) in da je ekstrem samo eden od bistvenih podatkov.

It has been designed specifically for the measurements in field conditions. This fact can be seen in the set-up of the hardware, as well as in the design of the software package, which is the main tool for the structure load data acquisition.

The hardware and software of the input modules supports a wide variety of transducers, from resistive strain gauges, different configurations of inductive and capacitive sensors to piezoelectric transducers. The frequency range is limited to the frequencies relevant for the strength analyses of metal and some non metal materials important in machine design.

The measurements result in time - load histories of each measurement point taken under different operation conditions. This form however, is not directly applicable for reliability determination. It must be transformed to load collectives [19], that are the basis for the determination of the probability of failure. We have used partly standardised procedures (i.e. counting methods) for the transformation of the time histories to load collectives [17], [20]. In order to perform this usually time - consuming procedure in an efficient manner, we have developed a dedicated software support. In further calculations this software uses methods which differ somewhat from the established ones.

2 CALCULATION OF PROBABILITY OF OCCURRENCE OF A LOAD STATE DURING OPERATION

The usual method of computation of probability of occurrence of a stress state is described e.g. in [8]. It is based on the theory of distribution of extremes developed by E. J. Gumbel, and the theory of »return period«. This method requires the transformation of random loads in load collectives.

The scatter of load collectives can be determined only from their extreme values, so we can determine e. g. the 10, 50, and 90% position of the load collective. There are however some drawbacks to this method:

- The different positions of load collectives (e.g. 10, 50 in 90 %) can be designed only for extremes and cannot be anything but linear in any coordinate system. They are strongly dependent on the number of samples. Several research studies [7] to [11] show, however, that linearity is a very rough approximation to the actual, measured result (curvature of load collectives) and that the extreme is only one of the relevant data.

— Tako ni mogoče določiti zakona porazdelitve verjetnosti obremenitev med dejanskim obratovanjem, temveč samo vnaprej določene lege obremenitvenih kolektivov.

Zato je bila zasnovana in raziskana nova metoda analize izmerjenih obremenitev, da bi lahko sklepali o verjetnosti njihovega pojava med obratovanjem [13], [14].

2.1 Eksperimentalna metoda

Začetna analiza izmerjenih vrednosti se tu ne razlikuje od uveljavljene [8]. Izmerjene vrednosti obremenitev, običajno zapisane v oblikah analognega signala na magnetofonu digitaliziramo in z računalniško obdelavo konstruiramo ustrezne obremenitvene kolektive za več različnih razmer obratovanja.

Nadaljnji potek metode je razložen na konkretnem primeru šasije avtobusa (sl. 2), kjer so bila za nekatera kritična mesta izmerjena obremenitvena stanja. Slika 3 prikazuje za tako kritično mesto skupino obremenitvenih kolektivov, dobljenih po metodi DIN-Peak 3 in za primerjavo še družino obremenitvenih kolektivov, dobljenih po metodi SAE-Rain Flow (sl. 4).

Izkušnje namreč kažejo [7], [9], da je za sklepe o utrujenostnih poškodbah na jeklenih konstrukcijah najprimernejše konstruirati obremenitvene kolektive po teh dveh metodah.

— In this way it is not possible to determine the law of probability distribution of real stresses, but only to determine the positions of load collectives.

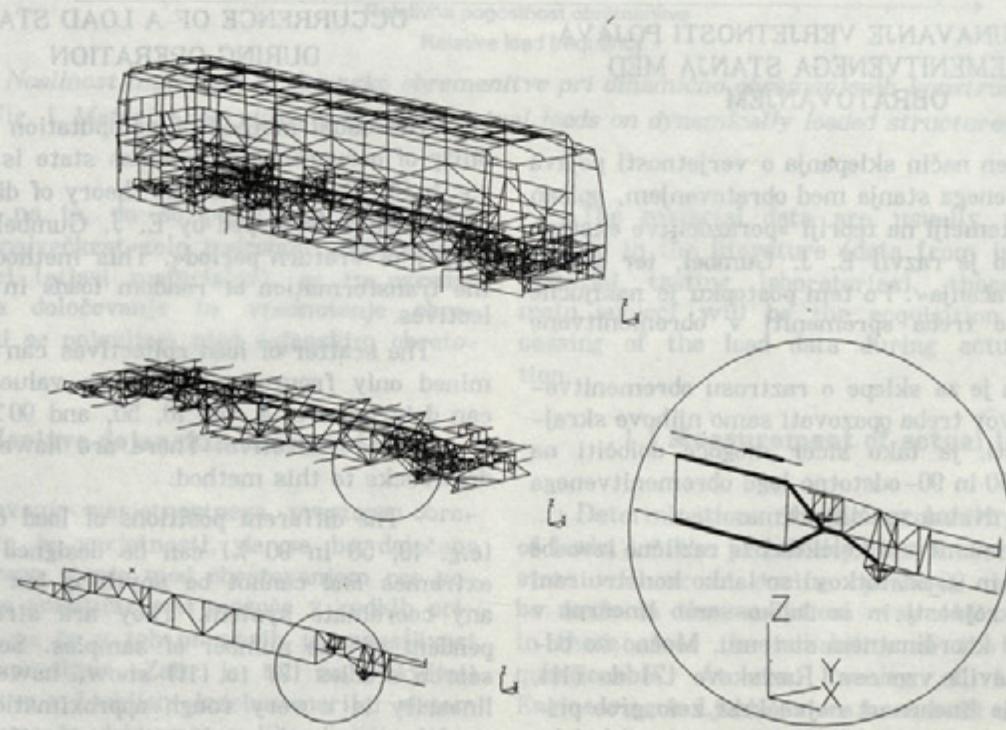
Both these disadvantages were the reason why we started to work on a new method which includes the analysis of the measured loads to predict the probability of stress state occurrences during operating [13], [14].

2.1 Experimental method

The initial analysis of the measured values does not differ from the conventional one [8]. The measured load values, usually recorded as analogue signals on the tape recorder are digitised. By computer processing, the relevant load collectives are designed for a variety of operating conditions.

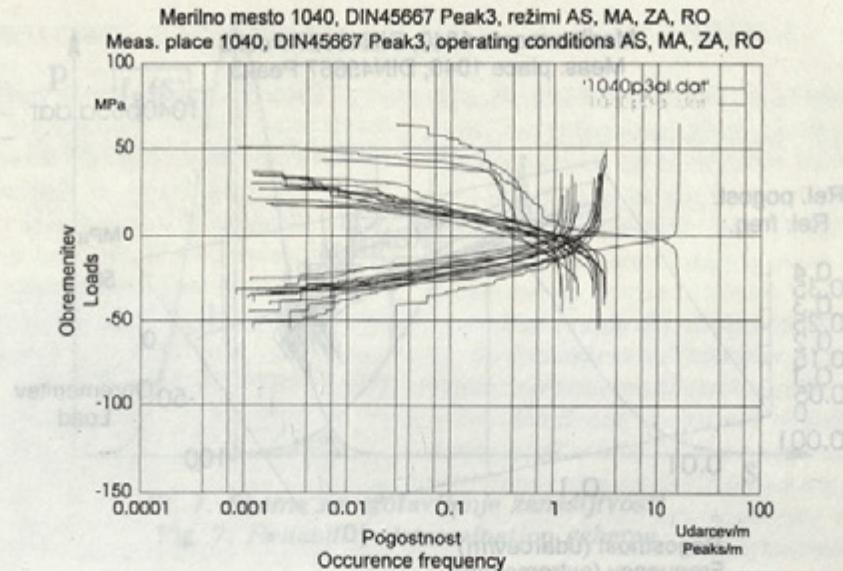
The way the measured results are further processed is specific for the new method. The process is explained on the example of a bus chassis, (Figure 2), where in some critical sections, the stress states have been measured. For this kind of critical section, Figure 3 shows a family of load collectives obtained by the DIN-Peak 3 method, and (Figure 4) also a family of load collectives obtained by the SAE Rain Flow method.

Experience has shown [7], [9] that, to predict fatigue failure of steel structures, these two methods using load collectives are the most convenient.



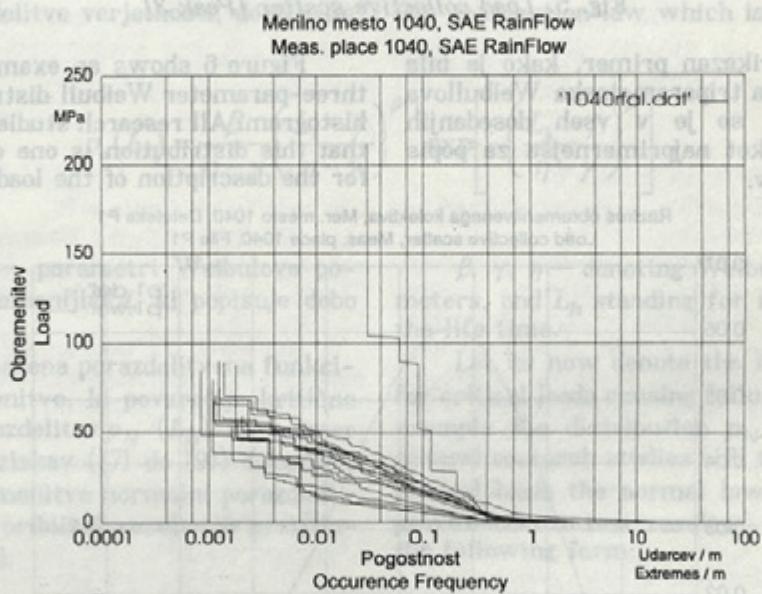
Sl. 2. Šasija »lahkega« avtobusa Avtomontaže A119

Fig. 2. Chassis of the »light« bus A119 of Avtomontaže



Sl. 3. Družina obremenitvenih kolektivov za različne obratovalne pogoje (DIN 45667 Peak 3)

Fig. 3. Family of load collectives for varying operating conditions (DIN 45667 Peak 3)



Sl. 4. Skupina obremenitvenih kolektivov (SAE RainFlow)

Fig. 4. Group of load collectives (SAE RainFlow)

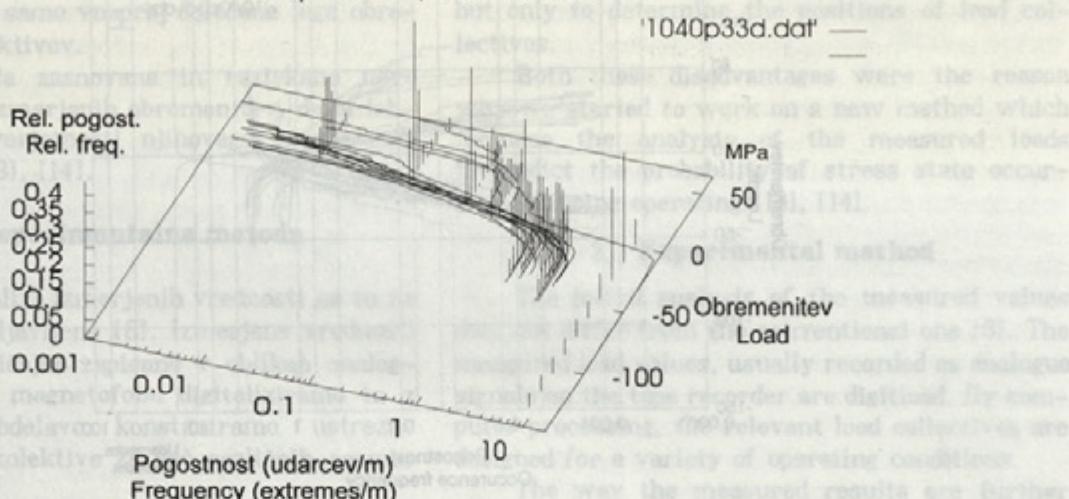
Skupina okoli 400 obremenitvenih kolektivov (sl. 5) je bila konstruirana tako, da so bili vzorci obremenitev vzeti iz izmerjenih vrednosti, zabeleženih na magnetofonu, v razmerju z naročnikovo zahtevo po pogostosti uporabe vozila v posamičnih okolišinah (avtocesta, deželna cesta, gorska vožnja itn.) obratovanja.

Predstavljeni histogrami (sl. 5) so bili konstruirani tako, da je bila napetost za vsako od determiniranih pogostosti pojavljanja sunkov razdeljena v primerno število razredov. »Relativna pogostost« (tretja dimenzija v sliki) je bila določena tako, da je bilo prešteto število obremenitev pri posamični pogostosti sunkov, ki so v ustrezem napetostnem razredu.

A family of about 400 load collectives (Fig. 5) was designed by taking the load samples from the measured values recorded on the tape, in the proportion defined by the frequency of using the vehicle in various operating conditions (highway, country road, mountain road, etc.) as indicated by the customer.

The histograms presented in (Fig. 5) were designed so that the stress for each of the chosen frequencies of impact occurrences was divided into a suitable number of classes. The »relative frequency« (third dimension in Figure 5) was defined in such a way that we counted the number of loads for each particular impact frequency in each stress class.

Merilno mesto 1040, DIN45667 Peak3
Meas. place 1040, DIN45667 Peak3



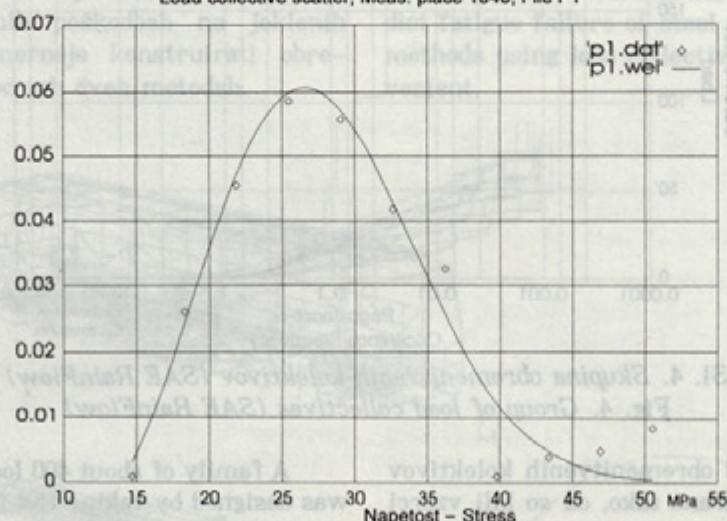
SI.5. Raztros obremenitvenih kolektivov (Peak 3)

Fig. 5. Load collective scatter (Peak 3)

Na sliki 6 je prikazan primer, kako je bila v histogramu vključena triparametrska Weibullovna porazdelitev [15], ki se je v vseh dosedanjih raziskavah pokazala kot najprimernejša za popis raztrosa obremenitev.

Figure 6 shows an example of introducing a three-parameter Weibull distribution [15] into the histogram. All research studies so far have shown that this distribution is one of the most suitable for the description of the load scatter.

Raztros obremenitvenega kolektiva, Mer. mesto 1040, Datoteka P1
Load collective scatter, Meas. place 1040, File P1

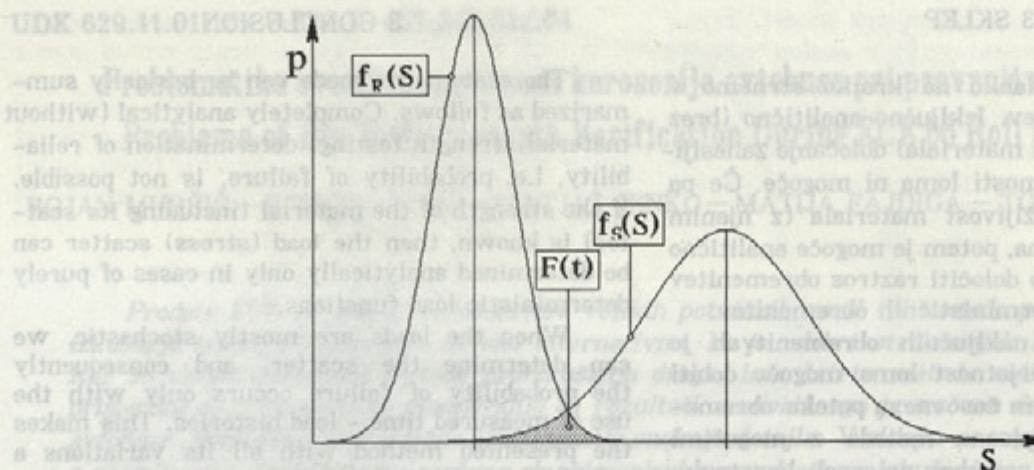


SI. 6. Aproksimacija raztrosa s triparametrsko Weibullovou porazdelitvijo

Fig. 6. Scatter approximation with the three parameter Weibull distribution function

Parametri porazdelitve za posamično determinirane pogostnosti in eno družino obremenitvenih kolektivov v nasprotju s pričakovanji niso bili enaki. V nadaljevanju bo treba poiskati razloge za ta odstopanja in odstopanja z normiranjem obremenitvenih kolektivov ter jih s strožjim upoštevanjem spremenljivih obratovalnih razmer zmanjšati. Venendar je bilo mogoče tudi v raziskavi [14] dokazati, da se lahko že s povprečjem parametrov za vse porazdelitve ene družine obremenitvenih kolektivov izpelje sklep o zanesljivosti R po shemi (sl. 7) [13].

The distribution parameters for the individual determined frequencies and for one family of loads were not the same. It will be necessary to find the reasons for these deviations, and reduce them by normalising the load collectives and making a more rigorous consideration of varying operating conditions. It was possible to prove in research study [14] that from the average value of parameters for all the distributions of one family of load collectives, the reliability prediction can be carried out according to the scheme shown in Fig. 7 [13].



Sl. 7. Shema za ugotavljanje zanesljivosti
Fig. 7. Reliability determination scheme

Če s $p_o(L_h)$ označimo porazdelitveno funkcijo obremenitev, se ta lahko popiše z Weibulovim zakonom porazdelitve verjetnosti, določenim na prej opisan način:

$$p_o(L_h) = \frac{\beta}{\eta - \gamma} \left(\frac{L_h - \gamma}{\eta - \gamma} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{L_h - \gamma}{\eta - \gamma} \right)^\beta \right]$$

pri čemer so: β, γ, η – parametri Weibulove porazdelitve, L_h – spremenljivka, ki popisuje dobo trajanja.

S $p_N(L_h)$ je označena porazdelitvena funkcija za kritične obremenitve, ki povzročijo kritično poškodbo. Če je porazdelitev $p_N(L_h)$ na primer normalna, saj več raziskav ([7] do [9]) dokazuje, da je za kritične obremenitve normalni porazdelitveni zakon zelo dober približek rezultatov preizkušanj, zapisana v obliki:

$$p_N(L_h) = \frac{1}{\sigma_N \sqrt{2\pi}} \exp \left[- \frac{(L_h - m_N)^2}{2\sigma_N^2} \right]$$

z značilnima parametromi porazdelitve m_N, σ_N . Potem se zanesljivost R kot kumulativna funkcija porazdelitve verjetnosti lahko izračuna z dvojnim integralom:

$$R = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\beta}{\eta - \gamma} \left(\frac{L_h - \gamma}{\eta - \gamma} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{L_h - \gamma}{\eta - \gamma} \right)^\beta \right] \int_{L_h}^{\infty} \frac{1}{\sigma_N \sqrt{2\pi}} \exp \left[- \frac{(L_h - m_N)^2}{2\sigma_N^2} \right] dL_h dL_h$$

Za vse zgoraj omenjene izračune je izdelana programska podpora (programski paket) v okviru merilnega sistema (DINAL) [14].

Denoting the stress distribution function by $p_o(L_h)$, we can express it by the Weibul probability distribution law which is defined below:

β, γ, η – denoting Weibul distribution parameters, and L_h standing for a variable describing the life time.

Let us now denote the distribution function for critical loads causing failure by $p_N(L_h)$. If for example the distribution $p_N(L_h)$ is normal – several research studies ([7] to [9]) prove that for critical loads the normal law is a very good approximation to test results – we can write it in the following form:

with typical distribution parameters m_N, σ_N . The reliability R as a cumulative function of probability distributions can then be calculated by a double integral, as follows:

$$R = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\beta}{\eta - \gamma} \left(\frac{L_h - \gamma}{\eta - \gamma} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{L_h - \gamma}{\eta - \gamma} \right)^\beta \right] \int_{L_h}^{\infty} \frac{1}{\sigma_N \sqrt{2\pi}} \exp \left[- \frac{(L_h - m_N)^2}{2\sigma_N^2} \right] dL_h dL_h$$

A special module of the DINAL [14] program package enables the calculation of the reliability for all stress distribution laws and critical values.

3 SKLEP

Vse razloženo lahko na kratko strnemo v nekaj osnovnih trditev. Izključno analitično (brez preizkušanja trdnosti materiala) določanje zanesljivosti oziroma verjetnosti loma ni mogoče. Če pa vzamemo, da je zdržljivost materiala (z njenim raztrosom vred) znana, potem je mogoče analitično sorazmerno natančno določiti raztros obremenitev samo v primeru determinističnih obremenitev.

Pri popolnoma naključnih obremenitvah je raztros in s tem verjetnost loma mogoče dobiti predvsem z merjenjem časovnega poteka obremenjevanja, zato je opisana metoda z mogočimi spremembami nujno potrebna pri vseh konstrukcijah, pri katerih pretirani varnostni faktorji (z vsemi spremljajočimi pojavi) niso zaželeni.

3 CONCLUSION

The statements made can be basically summarized as follows. Completely analytical (without material strength testing) determination of reliability, i.e. probability of failure, is not possible. If the strength of the material (including its scatter) is known, then the load (stress) scatter can be determined analytically only in cases of purely deterministic load functions.

When the loads are mostly stochastic, we can determine the scatter, and consequently the probability of failure occurs only with the use of measured time - load histories. This makes the presented method with all its variations a valuable design tool in all designs where additional exaggerated safety factors (with their side effects) are not welcome.

4 LITERATURA

4 REFERENCES

- [1] Franke, H. M.: *Der Lebenszyklus technischer Produkte*. VDI-Berichte. Nr. 512. Düsseldorf: VDI Verlag, 1984.
- [2] Hubka, V.: *Theorie technischer Systeme*. Springer Verlag, Berlin 1984.
- [3] Alven, W.H.: *Reliability Engineering*. Prentice Hall, Inc. New Jersey, 1964.
- [4] Blanchard, B.-Lowery, E.: *Maintainability*. McGraw-Hill, New York, 1969.
- [5] Kapur, K.C.-Lamberson, L.R.: *Reliability Engineering. Design*. John Wiley & Sons, New York, 1977.
- [6] Barlow, R.G. - Proshan, F.: *Statistical Theory of Reliability and Life Testing Probability Models*. Holt, Reinhart and Winston, Inc. New York, 1975.
- [7] Fajdiga M.- Kernc, J.- Jurejevič, T.: Versuchsergebnisse als Einführung in die analytische Methode der Belastungsbestimmung des Omnibus-Chassis. XXI. Meeting of Bus and Coach Experts. 304-312. Budapest, 1990.
- [8] Buxbaum, O.: *Betriebsfestigkeit*. Verlag Stahl-eisen mbH, Düsseldorf, 1986.
- [9] Fajdiga, M.- Jurejevič, T.: Dimensionierung in Bezug auf Zuverlässigkeit als Methode der Optimierung der Qualitätssicherung. ICED 93, WDK 22, Heurista, V.2, II89-II95, The Hague, 1993.
- [10] Fajdiga, M.: Computer - Simulation bei der Konstruktion in Bezug auf Zuverlässigkeit. ICED 91. WDK 20, Heurista, V.2, 978-985, Zürich, 1991.
- [11] Grubišić, V.: Ermittlung von Bemessungs-Kollektiven für Nutzfahrzeug-Bauteile. Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ). Franchsche Verlag, Stuttgart, Bd 82 (1980) Nr. 4, 229-231
- [12] Mitschke, M.: *Dynamik der Kraftfahrzeuge*. Springer-Verlag, Berlin 1989.
- [13] Jurejevič, T.: Interaction Between Analytical and Experimental Reliability Design. Approach. MSc. Thesis. Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, 1992.
- [14] Kernc, J.: Determination of Reliability Using Analytical and Experimental Methods. M.Sc. Thesis. Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, 1993.
- [15] Weibull, W.: *Fatigue Testing and the Analysis of Results*. Pergamon Press, Oxford, 1961.
- [16] Pages, A.-Gondran, M.: *Fiabilité des systèmes*. Eyrolles, Paris 1980.
- [17] Fatigue under Complex Loading. Edited: R.M. Wetzel. Society of Automotive Engineers Inc., 1977.
- [18] Buch, A.: *Fatigue Strength Calculation*. Trans Tech SA, Aedersmansdorf (CH), 1988.
- [19] Kernc, J.-Podgornik, S.-Fajdiga, M.: Uporaba meritnih in računskih metod na primeru avtobusa T260AII9, referat na »Simpozijum Nauka i Motorna Vožila«, Beograd, 1989.
- [20] DIN Veröffentlichungen. DIN45667 Klassierverfahren für das Erfassen regelloser Schwingungen. Beuth-Verlag, Berlin, 1969.

Naslov avtorjev: mag. Janko Kernc, dipl. inž.
prof. dr. Matija Fajdiga, dipl. inž.
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6
Ljubljana

Prejeto: 14.6.1995
Received: 14.6.1995

Authors' Address: Mag. Janko Kernc, Dipl. Inž.
Prof. Dr. Matija Fajdiga, Dipl. Inž.
Faculty of Mechanical Engineering
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
61000 Ljubljana, Slovenia

Sprejeto: 31.8.1995
Accepted: 31.8.1995