



FEDERATION EUROPEENNE DE LA MANUTENTION
SEKTION IX
SERIENHEBEZEUGE

FEM
9.221

Leistungsnachweis für Regalbediengeräte
Zuverlässigkeit Verfügbarkeit

Erstausgabe (D)
10.1981

1. Vorwort

In der vorliegenden FEM-Regel wird eine einheitliche Methode zur Bestimmung von Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Regalbediengeräten gegeben. Sie ermöglicht eine Aussage über die von dem Betreiber einer Hochregalanlage vom Hersteller geforderte Umschlagleistung, die als Anzahl der Ein- und/oder Auslagerungen je Zeiteinheit definiert ist.

Die Umschlagleistung hängt neben der Verfügbarkeit der Systemelemente auch von der Spielzeit ab, mit der sich FEM 9.851 ¹⁾ befaßt.

Aufgrund der theoretischen Grundlage wird ein Verfahren für den Leistungstest in der Praxis festgelegt. Es berücksichtigt die Unterscheidung der Ausfallzeiten und Störungen nach Verantwortungsbereichen.

2 Definitionen und theoretische Grundlagen

2.1 Zuverlässigkeit η_n

Die Zuverlässigkeit eines diskontinuierlich belasteten Systemelements ist gleich der Wahrscheinlichkeit, daß dieses eine betrachtete Funktion störungsfrei und korrekt ausführt. Die Zuverlässigkeit wird experimentell durch den Quotienten

$$\eta_n = \frac{n_r}{n_r + n_f} \quad (1)$$

bestimmt, wobei:

n_r = Anzahl der richtigen Funktionserfüllungen,

n_f = Anzahl der falschen bzw. gestörten Funktionserfüllungen.

Die betrachtete Funktion soll mit einer statistisch ausreichenden Häufigkeit erprobt werden.

2.2 Verfügbarkeit η_T

Die Verfügbarkeit eines Systemelements für eine bestimmte Funktion ist gleich der Wahrscheinlichkeit, das Element zu einem beliebigen Zeitpunkt während der Betriebszeit in einem Zustand anzutreffen, der eine störungsfreie und korrekte Ausführung der betrachteten Funktion erlaubt. ²⁾

Zur experimentellen Bestimmung der Verfügbarkeit einzelner Systemelemente wird das betrachtete Systemelement unter eindeutig festgelegten Betriebsbedingungen bei der vorgesehenen durchschnittlichen Beanspruchung eine statistisch ausreichend lange Zeit T betrachtet.

Die Verfügbarkeit ist durch den Quotienten

$$\eta_T = \frac{T - T_{aus}}{T} \quad (2)$$

bestimmt,

wobei:

T = gesamte Einschaltzeit

T_{aus} = Summe der einzelnen Ausfallzeiten

Damit wird die **Netto-Betriebszeit**

$$T_{net} = T - T_{aus} \quad (3)$$

Mittlere Ausfallzeit ist die gesamte Ausfallzeit T_{aus} geteilt durch die Anzahl der Störungen n_{aus} :

$$\frac{T_{aus}}{n_{aus}} = MTTR \quad (4)$$

In entsprechender Weise ergibt sich die **mittlere störungsfreie Zeit**

$$\frac{T - T_{aus}}{n_{aus}} = MTBF \quad (5)$$

und deswegen kann die Verfügbarkeit auch durch den Quotienten

$$\eta_T = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6)$$

ausgedrückt werden.

2.3 Ausfallzeiten

Die Gesamtzeit jedes einzelnen Ausfalls besteht aus folgenden Teilzeiten:

t_1 = Zeitraum zwischen Anhalten des Gerätes und Beginn der Störungssuche durch das zuständige Personal.

t_2 = Zeit, die zur Feststellung des Störungsgrundes benötigt wird.

t_3 = Zeit, die zur Behebung der Störung bis zur Betriebsbereitschaft benötigt wird

1) FEM 9.851 Leistungsnachweis für Regalbediengeräte; Spielzeiten

2) In einer Anlage, die mehrere Regalbediengeräte umfaßt, berührt eine Störung bei einem Gerät die Verfügbarkeit der Anlage nur teilweise. Die Berechnung der Verfügbarkeit der gesamten Anlage wird, ausgehend von den Grundregeln dieses Dokuments, nach den mathematischen Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung durchgeführt (vgl. Anhang A.2).

3) MTTR = mean time to restore

4) MTBF = mean time between failures

3 Praktische Anwendung

3.1 Leistungstest

Die Umschlagleistung eines Systemelements kann durch Leistungstests überprüft werden. Die Ermittlung der Spielzeiten erfolgt gemäß FEM 9.851.

Tests zur Ermittlung von Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit erstrecken sich über einen bestimmten Bezugszeitraum, der nicht zu kurz gewählt werden sollte. Ein solcher Test kann auch zur Überprüfung vereinbarter Leistungen durchgeführt werden. In diesen Fällen sind Beginn und Ende zwischen Betreiber und Lieferant zu vereinbaren. Die Dauer sollte je nach Anlagenumfang zwischen 1 Tag und 1 Arbeitswoche betragen.

Während der Tests ist darauf zu achten, daß die Beanspruchung der Geräte sich im vorgesehenen Rahmen bewegt, sowohl was die Häufigkeit und das Spektrum der einzulagernden Lasten angeht, die im Rahmen des bei der Auslegung zugrunde gelegten Lastkollektivs (vgl. FEM 9.512 ⁵⁾) liegen sollten, als auch bezüglich einer gleichmäßigen Verteilung der angefahrenen Lagerpunkte über das gesamte Lager, wie sie z. B. bei der Berechnung der Spielzeiten (vgl. FEM 9.851) die Grundlage bildet. Streßprogramme, wie sie in Stoßzeiten und bei der Füllung eines Lagers auftreten, sind hierfür ungeeignet.

3.2 Testprotokoll

Wird ein Test durchgeführt, ist vom Betreiber ein Protokoll gemäß Formblatt 1 ⁶⁾ zu führen, in das jeweils eingetragen wird:

- Betriebsbeginn, Betriebspausen und Betriebsende,
- Zahl der richtig ausgeführten Spiele (n_r),
- Zahl der falsch ausgeführten bzw. gestörten Spiele (n_f).

Und zusätzlich bei jeder Störung die folgenden Angaben (Uhrzeit und Beschreibung):

1. Störung

Störungszeitpunkt A und Art der Störung

2. Störungssuche

Zeitpunkt B des Eintreffens des zuständigen Personals und die festgelegte Störungsursache

3. Störungsbehebung

Zeitpunkt C des Beginns der Störungsbehebung und die dabei ergriffene Maßnahme

4. Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft (Zeitpunkt D)

Bei der Auswertung dieses Protokolls werden die im Abschnitt 2.3 genannten Ausfallzeiten wie folgt ermittelt:

$$t_1 = B - A$$

$$t_2 = C - B$$

$$t_3 = D - C$$

3.3 Zuordnung zu Verantwortungsbereichen

Werden Tests zur Überprüfung der vereinbarten Leistung durchgeführt, ist es erforderlich, Ausfallursachen und Teilzeiten einzelnen Verantwortungsbereichen zuzuordnen, damit einerseits der Betreiber klar erkennen kann, ob das Regalbediengerät die vereinbarte Leistung erbringt, andererseits dem Lieferanten aber nicht Ausfälle und Störungszeiten angelastet werden, für die er nicht verantwortlich gemacht werden kann. Diese Auswertung erfolgt durch Betreiber und Lieferant gemeinsam.

Bei der Beurteilung eines Regalbediengerätes dürfen z. B. Ausfallzeiten nicht berücksichtigt werden, deren Ursachen

- Fehler bei der Bedienung
- Fehler bei der Dateneingabe
- Fehler bei Paletten bzw. Ladeeinheiten
- Handeinlagerungen bei automatischen Anlagen
- Wartung

usw.

sind. Bei den verbleibenden technischen Störungen sind die Einzelzeiten t_1 , t_2 und t_3 zu unterscheiden.

Die Zeit t_1 wird ausschließlich vom Betreiber bestimmt und kann nicht dem Lieferanten zugeschrieben werden.

Die Zeit t_2 ist von Gründen abhängig, die sowohl dem Betreiber als auch dem Lieferanten zugeschrieben werden können. Zum Verantwortungsbereich des Betreibers zählen z. B. Ausbildung und Qualifikation des Wartungspersonals, Vorhandensein von geeignetem Werkzeug usw. Der Lieferant kann das System von vornherein so gestalten, daß die Diagnose im Störfall erleichtert wird.

Wird in besonderen Fällen Zeit darauf verwandt, die Fehlerursache detailliert zu ergünden, so darf dies nicht der Ausfallzeit zugerechnet werden.

Die Zeit t_3 kann dem Lieferanten zugeschrieben werden unter den Voraussetzungen, daß

- die evtl. zur Reparatur notwendigen Ersatz- und Verschleißteile entsprechend den vertraglichen Vereinbarungen vom Betreiber bereitgehalten werden und sofort verfügbar sind,
- die Ausbildung und die Ausstattung der Wartungsgruppe geeignet sind, die Arbeit in einer akzeptablen Zeit auszuführen.

3.4 Auswertung

Hierfür kann z. B. der Auswertungsbogen gemäß Formblatt 2 ⁷⁾ benutzt werden.

3.4.1 Zuverlässigkeit

Aus den im Testprotokoll erfaßten Spielzahlen ergibt sich die Zuverlässigkeit gemäß Formel (1). Soll dabei nach Verantwortungsbereichen unterschieden werden, ist z. B. für den Verantwortungsbereich des Lieferanten nur die Anzahl der falschen Funktionserfüllungen einzusetzen, die er zu vertreten hat (n_{fL}):

$$\eta_{nL} = \frac{n_r}{n_r + n_{fL}} \quad (1)$$

3.4.2 Verfügbarkeit

Aus den im Testprotokoll erfaßten Daten errechnet sich die gesamte Ausfallzeit nach der Formel

$$T_{\text{aus}} = \sum_{i=1}^n (t_1 + t_2 + t_3)_i \quad (8)$$

Für jeden Bereich werden die Ausfallzeiten getrennt ermittelt und durch einen Index gekennzeichnet, z. B. für den Verantwortungsbereich des Lieferanten

$$T_{\text{aus L}} = \sum_{i=1}^n (t_{2L} + t_{3L})_i \quad (9)$$

5) FEM 9.512 Berechnungsgrundlagen für Regalbediengeräte; Triebwerke

6) Siehe Seite 6

7) Siehe Seite 7

die dem Lieferanten zuzuordnende Ausfallzeit wird auf die Netto-Betriebszeit T_{net} (vgl. Formel (3)) bezogen und gemäß Formel (10) der Quotient ermittelt:

$$\eta_{TL} = \frac{T_{\text{net}}}{T_{\text{net}} + T_{\text{ausL}}} \quad (10)$$

Dabei ist zu beachten, daß Betriebszeiten einzelner Regalbediengeräten durchaus auch dann auftreten können, wenn das Gesamtsystem als gestört zu betrachten ist 8). Zur Berechnung der Netto-Betriebszeit dürfen in solchen Fällen nur die Ausfall- und Störungszeiten des Gerätes selbst von der Gesamtbetriebszeit abgezogen werden und nicht global die Ausfallzeiten des Gesamtsystems, insbesondere, wenn zu beurteilen ist, ob vertragliche Festlegungen erfüllt wurden.

3.4.3 Umschlagleistung

Aus der gemäß FEM 9.851 ermittelten Spielzeit und den nach dem obigen Verfahren ermittelten Werten für die Verfügbarkeit läßt sich die Umschlagleistung errechnen. Sie wird durch hohe Verfügbarkeitswerte und kurze Spielzeiten positiv beeinflusst. In begrenztem Maß kann dabei ein Ausgleich zwischen beiden Werten vorgenommen werden.

Wird z. B. von der Anlage bei dem Test eine kürzere Spielzeit erbracht als vertraglich vereinbart, so kann die Verfügbarkeitszusage als erfüllt betrachtet werden, wenn die vereinbarte Umschlagleistung erzielt wurde.

4 Richtwerte

Mit Rücksicht darauf, daß die Ausbildung des Bedienungs-personals während der ersten Monate nach Inbetriebnahme des Regalbediengerätes noch nicht ausreichend ist und der fortdauernde Betrieb des Regalbediengerätes etwaige Störungen oder Ungenauigkeiten zeigen kann, die bei der Werkstatabnahme und Inbetriebnahme nicht immer bemerkbar sind, kann der Lieferant eine mit der Zeit wachsende Umschlagleistung gewährleisten.

Nach den ersten drei Monaten ab endgültiger Inbetriebsetzung beträgt die Verfügbarkeit im allgemeinen bis zu 90 %, nach weiteren drei Monaten, d. h. nach sechs Monaten ab endgültiger Inbetriebsetzung, bis zu 96 %.

Bei besonders komplizierten Anlagen oder bei besonders schweren Arbeitsbedingungen können die Zeiträume und Verfügbarkeitswerte davon abweichen.

Die vorstehend genannten Verfügbarkeitsgrenzwerte gelten nur unter folgenden Voraussetzungen:

- a) Die Bedienung der Anlage erfolgt ausschließlich durch eingewiesenes und geübtes Personal.
- b) Die Erfahrung zeigt, daß Ausfälle häufiger auftreten, wenn die normale vorbeugende Wartung nicht sachgerecht durchgeführt wird. Der Betreiber hat daher für vorbeugende Wartung nach den Anweisungen des Lieferanten zu sorgen. Es ist sinnvoll, das zuständige Personal des Betreibers durch Mithilfe bei Aufstellung und Inbetriebnahme des Regalbediengerätes in die technischen Details einzuweisen, damit evtl. auftretende Störungen später selbständig behoben werden können.
- c) Inspektionen und Wartungen werden nicht in die Verfügbarkeitsbetrachtung einbezogen.
- d) Ersatzteile und Verschleißteile müssen entsprechend der Empfehlung des Lieferanten bei der Anlage vorhanden sein.

8) Z. B. bei fehlerhaften Fahrbefehlen eines übergeordneten Rechners

ANHANG A.1

Berechnungsbeispiel

6 Monate nach der Inbetriebnahme einer Anlage wurde ein Regalbediengerät einem Prüfbetrieb für die Dauer einer Woche unterworfen.

Während der 5 Tage in einschichtigem Betrieb arbeitete das Gerät insgesamt $T = 37,3$ Stunden¹⁾. Ausfallzeiten von insgesamt $T_{\text{aus}} = 2,1$ Stunden wurden verzeichnet, davon jedoch nur $T_{\text{ausL}} = 1,6$ Stunden dem Verantwortungsbereich des Lieferanten zuzuordnen (die übrigen 0,5 Stunden waren durch Gründe, die unabhängig vom Regalbediengerät waren, verursacht worden). Die Verfügbarkeit ergibt sich daher unter Anwendung der Formel (9) und unter Bezug auf die Netto-Betriebszeit

$$T_{\text{net}} = T - T_{\text{aus}} = 37,3 - 2,1 = 35,2$$

zu

$$\eta_{\text{TL}} = \frac{T_{\text{net}}}{T_{\text{net}} + T_{\text{ausL}}} = \frac{35,2}{35,2 + 1,6} = 0,9565 \text{ oder } 95,65 \%$$

Da dieses Ergebnis etwas niedriger als das vertraglich zugesagte Ergebnis von 96 % war, wurde auch die Umschlagleistung des Gerätes in Betracht gezogen.

Im Vergleich zu den vereinbarten 25 Spielen pro Stunde (mittlere Spielzeit 144 Sekunden) wurde eine mittlere Spielzeit von 133 Sekunden ermittelt²⁾, also 27 Einzelspiele pro Stunde. Da dies 8 % höher als vereinbart ist, erbringt das Gerät trotz der nicht ganz erreichten Verfügbarkeitszusage die erforderliche Umschlagleistung und kann daher abgenommen werden.

1) Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3.4.2, letzter Absatz, angegebenen Bedingung

2) Vergleiche FEM 9.851 Leistungsnachweis von Regalbediengeräten; Spielzeiten.

ANHANG A.2

Verfügbarkeit bei mehreren Geräten

Um bei einer Anlage mit mehreren Geräten eine Aussage über die Verfügbarkeit machen zu können, müssen eine Vielzahl von Randbedingungen bekannt sein, die sich auf den genauen Grad der Abhängigkeit der einzelnen Elemente voneinander, und den Einfluß auf die Gesamtfunktion, den der Ausfall eines Gerätes hat, beziehen.

Zum Beispiel gilt dann, wenn selbst bei Totalausfall eines Gerätes für einen begrenzten Zeitraum die anderen Geräte die Funktion mit übernehmen können, daß die Verfügbarkeit des Gesamtsystems $\eta_{T_{ges}}$ nur dann beeinträchtigt ist, wenn alle Geräte gleichzeitig funktionsunfähig sind. Aus den Einzelverfügbarkeiten $\eta_{T_1}, \eta_{T_2}, \dots$ ergibt sich dies aus der folgenden Formel:

$$\eta_{T_{ges}} = 1 - (1 - \eta_{T_1}) \cdot (1 - \eta_{T_2}) \cdot \dots$$

d. h. bei x Geräten gleicher Verfügbarkeit

$$\eta_{T_{ges}} = 1 - (1 - \eta_T)^x$$

Wenn tatsächlich die betrachteten Geräte voll unabhängig und untereinander ersetzbar sind, ist dies ein mathematisch exakter Wert, der sich auch ergibt, wenn die Gerätegruppe als Gesamtsystem mit einem Ein- und Ausgang experimentell überprüft wird, und der auch in übergeordneten Verfügbarkeitsrechnungen eingesetzt werden kann.

In der Praxis wird gelegentlich mehr Wert auf eine Aussage gelegt, wie stark der Einfluß der Verfügbarkeit eines Systemelements auf die gesamte Anlage ist. Dafür kann z. B. ein korrigierter Verfügbarkeitswert $\eta_{T_{cor}}$ herangezogen werden, bei dessen Ermittlung die Ausfallzeiten eines Gerätes nicht in ihrer vollen Höhe gewertet werden, sondern nur mit dem Anteil, mit dem sie tatsächlich die Funktion der Anlage beeinträchtigen:

$$\eta_{T_{cor}} = \frac{T_{net}}{T_{net} + f_{cor} \cdot T_{aus}}$$

Kann z. B. in einer Anlage mit 2 Geräten bei der Störung eines der beiden das verbleibende noch 60 % der Gesamtumschlagleistung übernehmen (ist die Gesamtleistung also um 40 % gemindert), lautet der Korrekturfaktor:

$$f_{cor} = (1 - 0,6) = 0,4$$

und der korrigierte Verfügbarkeitswert

$$\eta_{T_{cor}} = \frac{T_{net}}{T_{net} + 0,4 \cdot T_{aus}}$$

Eine Abschätzung der Bedeutung einzelner Anlagenteile ist auf diesem Weg möglich.

Beide Rechenverfahren zeigen jedoch deutlich, daß selbst niedrige Verfügbarkeitswerte einzelner Systemelemente für die gesamte Anlage dann unproblematisch sind, wenn durch geschickte Anlagenkombination und geeignete Benutzungsstrategie im Störfall noch mit der Anlage weitergearbeitet werden kann.

Erstellt durch den Technischen Unterausschuß "Regalbediengeräte und Stapelkrane" der Sektion IX
der Fédération Européenne de la Manutention (FEM)
Prepared by the Technical Subcommittee "Storage/retrieval machines and stacker cranes" of Section IX
of the Fédération Européenne de la Manutention (FEM)
Etabli par le Sous-comité Technique "Transtockeurs et ponts gerbeurs" de la section IX
de la Fédération Européenne de la Manutention (FEM)

Sekretariat der FEM Sektion IX
Sekretariat: c/o VDMA
Secretariat: Fachgemeinschaft Fördertechnik
Secrétariat: Postfach 71 08 64
D-60498 Frankfurt

Zu beziehen durch das oben angegebene Sekretariat oder durch die folgenden Nationalkomitees der FEM
Available from the above secretariat or from the following committees of the FEM
En vente auprès du secrétariat ou des comités nationaux suivants de la FEM

Belgique

Comité National Belge de la FEM
Fabrimétal
Rue des Drapiers 21
B-1050 Bruxelles

Deutschland

Deutsches Nationalkomitee der FEM
VDMA
Fachgemeinschaft Fördertechnik
Postfach 71 08 64
D-60498 Frankfurt
Lyoner Str. 18
D-60528 Frankfurt

España

Comité Nacional Español de la FEM
Asociación Nacional de Manutención (AEM)
ETSEIB-PABELLON F Diagonal, 647
E-08028 Barcelona

Finland

Finnish National Committee of FEM
Federation of Finnish Metal, Eng. and Electro-
techn. Industries (FIMET)
Eteläranta 10
SF-00130 Helsinki

France

Comité National Français de la FEM
Syndicat des industries de matériels
de manutention (SIMMA)
39/41 rue Louis Blanc - F-92400 Courbevoie
cedex 72 - F-92038 Paris la Défense

Great Britain

British National Committee of FEM
British Materials Handling Federation
Bridge House, 8th Floor
Queensway, Smallbrook
GB-Birmingham B5 4JP

Italia

Comitato Nazionale Italiano della FEM
Federazione delle Associazioni Nazionali dell'Industria
Meccanica Varia ed Affine (ANIMA)
Via L. Battistotti Sassi 11
I-20133 Milano

Luxembourg

Comité National Luxembourgeois de la FEM
Fédération des Industriels Luxembourgeois
Groupement des Constructeurs et Fondateurs du
Grande-Duché de Luxembourg
Boîte Postale 1304
Rue Alcide de Gasperi 7
L-1013 Luxembourg

Nederland

Nederlands Nationaal Comité bij de FEM
Vereniging FME
Postbus 190, Bredewater 20
NL-2700 AD Zoetermeer

Norge

Norwegian FEM Groups
Norsk Verkstedsindustri
Standardiseringsentral NVS
Box 7072 / Oscars Gate 20
N-0306 Oslo

Portugal

Comissão Nacional Portuguesa da FEM
Federação Nacional do Metal
FENAME
Rua do Quelhas, 22-3
P-1200 Lisboa

Schweiz / Suisse / Svizzera

Schweizerisches Nationalkomitee der FEM
Verein Schweizerischer Maschinen-Industrieller
(VSM)
Kirchenweg 4 / Postfach 179
CH-8032 Zürich

Sverige

Swedish National Committee of FEM
Sveriges Verkstadsindustrier
Materialhanteringsgruppen
Storgatan 5, Box 5510
S-114 85 Stockholm