

Formelsamling i Energiteknik

Version 2024-01-29

Olof Björkqvist och Marcus Eriksson

Formler och beteckningar utgående från Soleimani Mohseni m. fl., 2018 och Alvarez, 2006

Korrekturfel och förbättringsförslag kan rapporteras till Olof Björkqvist <olof.bjorkqvist@miun.se>
Detta verk är publicerat under en Creative Commons Erkännande-DelaLika 4.0 Internationell Licens (CC BY-SA 4.0)

Institutionen för naturvetenskap, design och hållbar utveckling (NDH)
Mittuniversitetet

Innehåll

1	Ekonomi	2
2	Underhållsteknik	4
	Symboler	9
	Referenser	10

Kapitel 1

Ekonomi

Beteckningar

Antal år (kan även betecknas x) (n)
Annuitet, kr (A)
Annuitetsfaktor, dimensionslöst (kan även betecknas a) (f_A)
Grundinvestering, kr (G)
Inflation, % (q)
Livscykelkostnad, kr (LCC)
Intäktsöverskott, kr/år (a)
Intäkt eller kostnad, kr (C)
Nusummeffaktor, dimensionslöst (f_N)
Nuvärde, kr (N)
Restvärde, kr (R)
Ränta, % (r)
Slutvärde, kr (även K_n) (SV)
Återbetalningstid (payback), år (T)

Index

0 Värde vid tidpunkt 0 (idag)
 n Värde vid tidpunkt n
 N Nuvärde

Formler och samband

Nuvärde

$$N = K_n \cdot (1 + r)^{-n} = SN \cdot (1 + r)^{-n}$$

Nuvärdesmetoden

$$N = \sum_{i=1}^n C_i \cdot (1+r)^{-i}$$

$$N = \sum_{i=1}^n a \cdot (1+r)^{-i} = f_N \cdot a$$

om det årliga intäktsöverskottet är konstant.

$$f_N = \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} = \frac{1}{f_A}$$

Annuitetsmetoden

$$A = f_A \cdot N$$

$$f_A = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} = \frac{1}{f_N}$$

Slutvärde

$$K_n = SV = N \cdot (1+r)^n$$

Realränta

$$r_r = \frac{1+r}{1+q} \approx r - q$$

där r är den nominella räntan eller kalkylräntan.

Paybackmetoden

$$\text{Generellt: } \sum_{i=0}^T C_i = 0$$

$$\text{Diskonterad paybackmetod: } \sum_{i=0}^T C_i \cdot (1+r)^{-i} = 0$$

$$T = \frac{G}{a} \text{ om det årliga intäktsöverskottet är konstant.}$$

Life Cycle Cost (LCC)

$$LCC = G + \sum_{i=0}^n K_{N,i} - \sum_{i=0}^n I_{N,i} - R_N$$

Kapitel 2

Underhållsteknik

Beteckningar

Anläggningsutnyttjande, h (A)
Felintensitet, h (λ)
Kvalitetsutbytbyte, h (K)
Mean repair time, h (MRT)
Mean waiting time, h (MWT)
Mean down time, h (MDT)
Mean time to failure, h ($MTTF$)
Mean time between failure, h ($MTBF$)
Mean time to repair, h ($MTTR$)
Tillgänglighet, h (T)
Utrustningseffektivitet (TAK)

Definitioner

Begrepp och nyckeltal definieras i svensk standard SS-EN 13306 och SS-EN 15341. Dessa är sammanfattade i SSG rapport "Underhållseffektivitet, terminologi och nyckeltal".

Formler och beteckningar utgår från Hagberg och Henriksson, 2018, *Underhåll - Underhållsdokumentation*, 2009, *Underhåll - Underhållsterminologi*, 2017 och *Underhåll - Nyckeltal för underhåll*, 2007

Definitioner enligt SS-EN standard

Viktiga definitioner enligt SSG rapport "Underhållseffektivitet, terminologi och nyckeltal (2015)" är:

- Enhet: Del, komponent, anordning, delsystem, funktionell apparat, utrustning eller system som kan individuellt beskrivas och beaktas.
- Fel: Upphörande av förmågan hos en enhet att utföra en krävd funktion.
- Funktionsfel: Tillstånd hos en enhet karakteriserat av oförmåga att utföra en krävd funktion, exkluderat en oförmåga som kan uppstå vid förebyggande underhåll eller annan planerad åtgärd eller brist på stödfunktioner
- Underhåll: Kombination av alla tekniska, administrativa och ledningens åtgärder under en enhets livstid avsedda att vidmakthålla den i, eller återställa den till, ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion.

- Förebyggande underhåll: Underhåll som genomförs vid förutbestämda intervall eller enligt förutbestämda kriterier och i avsikt att minska sannolikheten för fel eller degradering av en enhets funktion.
- Förutbestämt underhåll: Förebyggande underhåll som genomförs i enlighet med bestämda intervaller eller efter en bestämd användning, men utan att föregås av tillståndskontroll.
- Tillståndsbaserat underhåll: Förebyggande underhåll som består av kontroll och övervakning av en enhets tillstånd avseende dess funktion och egenskaper, samt därav föranledda åtgärder
- Förutsägbart underhåll: Tillståndsbaserad underhållsåtgärd som genomförs som följd av en förutsägelse om en enhets försämrade funktion baserad på analys och utvärdering av viktiga egenskaper.
- Förbättring: Kombination av alla tekniska, administrativa samt ledningens åtgärder, avsedda att förbättra en enhets tillförlitlighet, utan att ändra dess krävda funktion.
- Modifiering: Kombination av alla tekniska, administrativa och ledningens åtgärder, avsedda att ändra en enhets funktion.
- Avhjälpande underhåll: Underhåll som genomförs efter det att funktionsfel upptäckts och med avsikt att få enheten i ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion.
- Uppskjutet avhjälpande underhåll: Avhjälpande underhåll som inte genomförs omedelbart efter att ett funktionsfel upptäckts utan senareläggs i enlighet med givna underhållsdirektiv.
- Akut avhjälpande underhåll: Underhåll som genomförs omedelbart efter det att funktionsfel upptäckts för att undvika oacceptabla konsekvenser
- Operatörsunderhåll: Underhåll som genomförs av en enhets användare eller operatör

Definitioner från Hagberg och Henriksson "Underhåll i världsklass"

- Stopptid: = Väntetid + reparationstid
- Totalt disponibel tid_x: = Obelagd tid + Totalt disponibel tid_y
- Obelagd tid = planeringsfaktorn
- Totalt disponibel tid_y = Planerad produktionstid
- Tillgänglig tid av planerad produktionstid är Totalt disponibel tid_y - Stopptid
- MRT = Mean repair time: Tid att utföra reparation
- MWT = Mean waiting time: Väntetid fram till reparation
- MDT = Mean down time: Genomsnittligt stopptid

Nyckeltal

Standard SS-EN 15341 beskriver nyckeltalen i tre grupper:

- E - Ekonomiska nyckeltal
- O - Organisatoriska nyckeltal
- T - Tekniska nyckeltal

Nyckeltalen är sedan indelade i olika nivåer.

Ekonomiska nyckeltal

$$\mathbf{E1:} \frac{\text{Total underhållskostnad}}{\text{Återanskaffningsvärde}} \cdot 100$$

$$\mathbf{E3:} \frac{\text{Total underhållskostnad}}{\text{Total produktioh}}$$

$$\mathbf{E15:} \frac{\text{Kostnad för avhjälpande underhåll}}{\text{Total underhållskostnad}} \cdot 100$$

$$\mathbf{E16:} \frac{\text{Kostnad för förebyggande underhåll}}{\text{Total underhållskostnad}} \cdot 100$$

$$\mathbf{E17:} \frac{\text{Kostnad för tillståndsbaserat underhåll}}{\text{Total underhållskostnad}} \cdot 100$$

$$\mathbf{E18:} \frac{\text{Kostnad för förutbestämt underhåll}}{\text{Total underhållskostnad}} \cdot 100$$

$$\mathbf{E19:} \frac{\text{Kostnad för förbättring}}{\text{Total underhållskostnad}} \cdot 100$$

Tekniska nyckeltal

Enligt SS_EN standard

$$\mathbf{T1:} \frac{\text{Total drifttid}}{\text{Total drifttid} + \text{Driftstopp på grund av underhåll}} \cdot 100$$

$$\mathbf{T17:} MTBF = \frac{\text{Total drifttid}}{\text{Totalt antal fel}} = MTTF + MDT$$

$$\mathbf{T21:} MTTR = MDT = \frac{\text{Total tid för återställande}}{\text{Totalt antal fel}} = MRT + MWT$$

Enligt Hagberg och Henriksson, Underhåll i världsklass

Operativ prestation:

$$= \left(\frac{\text{Enheter}}{\text{Maskintimme}} \right) \cdot \left(\frac{\text{Maskintimmar}}{\text{År}} \right) = \text{enheter/år}$$

Tillgänglighet:

$$T = \frac{\text{Totalt disponibel tid} - \text{Obelagd tid}}{\text{Totalt disponibel tid}}$$

Tillgänglighet i seriekopplade funktioner:

$$T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot \dots \cdot T_n$$

Tillgänglighet i parallellkopplade funktioner:

$$T = 1 - (1 - T_1) \cdot (1 - T_2) \cdot (1 - T_3) \cdot \dots \cdot (1 - T_n)$$

Funktionssäkerhet:

$$MTTF = \frac{\text{Verkligt utnyttjad drifttid}}{\text{Antalet fel}}$$

Underhållsmässighet:

$$MRT = \frac{\text{Total reparationstid}}{\text{Antalet fel}}$$

Underhållssäkerhet:

$$MWT = \frac{\text{Total väntetid}}{\text{Antalet fel}}$$

Genomsnittligt stopptid:

$$MDT = MTTR = MRT + MWT$$

Felintensitet:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF}$$

Tillgängligheten:

$$\begin{aligned} T &= \frac{MTTF}{MTTF + MRT + MWT} = \\ &= \frac{1}{1 + MDT \cdot \lambda} = \\ &= \frac{1}{1 + (MRT + MWT) \cdot \lambda} \end{aligned}$$

Genomsnittsproduktion:

$$= \frac{\text{Totalt tillverkad volym under mätperioden}}{\text{Tillgänglig tid under mätperioden}}$$

T.A.K - beräkning

Tillgänglighet:

$$T = \frac{\text{Totalt tillgänglig tid} - \text{Stopptid}}{\text{Totalt tillgänglig tid}}$$

Anläggningsutnyttjande:

$$A = \frac{\text{Bruttoproduktion}}{\text{Totalt tillgänglig tid} \cdot T \cdot \text{Maximal produktionshastighet}}$$

Kvalitetsutbyte:

$$K = \frac{\text{Bruttoproduktion} - \text{Defekt produktion}}{\text{Bruttoproduktion}}$$

Utrustningseffektivitet:

$$TAK = T \cdot A \cdot K$$

Organisatoriska nyckeltal

Enligt SS_EN standard

$$\text{O4: } \frac{\text{Arbetstimmar underhåll som utförs av produktionsoperatör}}{\text{Totalt antal arbetstimmar som utförs av direkt underhållspersonal}} \cdot 100$$

$$\text{O5: } \frac{\text{Planerade och schemalagda arbetstimmar för underhåll}}{\text{Totalt antal tillgängliga timmar}} \cdot 100$$

$$\text{O9: } \frac{\text{Arbetstimmar underhåll som utförs av produktionsoperatör}}{\text{Totalt antal arbetstimmar som utförs av produktionsoperatörer}} \cdot 100$$

$$\text{O16: } \frac{\text{Arbetstimmar avhjälpande underhåll}}{\text{Totalt antal arbetstimmar för underhåll}} \cdot 100$$

$$\text{O17: } \frac{\text{Arbetstimmar akut avhjälpande underhåll}}{\text{Totalt antal arbetstimmar för underhåll}} \cdot 100$$

$$\text{O18: } \frac{\text{Arbetstimmar förebyggande underhåll}}{\text{Totalt antal arbetstimmar för underhåll}} \cdot 100$$

$$\text{O19: } \frac{\text{Arbetstimmar tillståndsbaserat underhåll}}{\text{Totalt antal arbetstimmar för underhåll}} \cdot 100$$

$$\text{O20: } \frac{\text{Arbetstimmar förutbestämt underhåll}}{\text{Totalt antal arbetstimmar för underhåll}} \cdot 100$$

Tillgänglighet

Tillgängligheten för en komponent:

$$0 \leq T \leq 1$$

Systemtillgänglighet för seriekopplade komponenter:

$$T_{system} = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdots T_n$$

Systemtillgänglighet för parallellkopplade komponenter:

$$T_{system} = 1 - (1 - T_1) \cdot (1 - T_2) \cdot (1 - T_3) \cdots (1 - T_n)$$

Symboler

A Anläggningsutnyttjande, h.

A Annuitet, kr.

C Intäkt eller kostnad, kr.

G Grundinvestering, kr.

K Kvalitetsutbytbyte, h.

LCC Livscykelkostnad, kr.

MDT Mean down time, h.

MRT Mean repair time, h.

$MTBF$ Mean time between failure, h.

$MTTF$ Mean time to failure, h.

$MTTR$ Mean time to repair, h.

MWT Mean waiting time, h.

N Nuvärde, kr.

R Restvärde, kr.

SV Slutvärde, kr (även K_n).

T Återbetalningstid (payback), år.

T Tillgänglighet, h.

TAK Utrustningseffektivitet.

λ Felintensitet, h.

a Intäktsöverskott, kr/år.

f_A Annuitetsfaktor, dimensionslöst (kan även betecknas a).

f_N Nusummefaktor, dimensionslöst.

n Antal år (kan även betecknas x).

q Inflation, %.

r Ränta, %.

Referenser

- Alvarez, H. (2006). *Energiteknik* (3. utg.). Studentlitteratur.
- Hagberg, L., & Henriksson, T. (2018). *Underhåll i världsklass* (Upplaga 2). OEE Consultants AB.
- Soleimani Mohseni, M., Bäckström, L., & Eklund, R. (2018). *Formelsamling i energiteknik*. Studentlitteratur AB.
- Underhåll - Nyckeltal för underhåll* (15341:2007). (2007). Svenska institutet för Standarder (SIS).
- Underhåll - Underhållsdokumentation* (13460:2009). (2009). Svenska institutet för Standarder (SIS).
- Underhåll - Underhållsterminologi* (13306:2017). (2017). Svenska institutet för Standarder (SIS).