

Hændelsesenergi i Febdok

Baggrund, risikovurdering og metodik

INTRODUKTION

Denne vejledning giver en introduktion til håndtering og beregning af hændelsesenergi ved hjælp af beregningsværktøjet Febdok.

Hændelsesenergi, som opstår fra lysbuer, kan medføre betydelige farer for både materiel og personale, og det er derfor afgørende at forstå og kunne beregne denne energi for at sikre acceptable arbejdsforhold.

Dokumentet begynder med en introduktion til vigtigheden af at håndtere elektriske farer, efterfulgt af vigtige definitioner som lysbue, hændelsesenergi og lysbuegrænse.

Derudover beskrives de forskellige farer, der kan føre til lysbuer, herunder støv, røg og overspændinger, samt de potentielle konsekvenser såsom forbrændinger.

Der lægges vægt på relevante forskrifter og standarder, her kan nævnes: Bek. 1082 af 12/07/2016, Bek. 725 af 12/06/2024, DS/EN 50110-1:2023, DS-håndbog 183:2024, DS/EN IEC TR 61641 og IEEE 1584 som giver retningslinjer for beskyttelse mod hændelsesenergi.

Dokumentet forklarer, hvordan Febdok kan anvendes til at beregne denne energi, og sammenligner to udgaver af IEEE 1584-standarden (2002 og 2018), som ligger til grund for beregningerne.

Endelig beskrives input- og outputparametre i Febdok samt nødvendigheden af korrekt værnemiddel baseret på den beregnede hændelsesenergi.

Gennem eksempler og beskrivelser vil vejledningen give dig forståelse for, hvordan du identificerer, beregner og håndterer de risici, der er forbundet med lysbuer, for at sikre sikkerheden på arbejdspladsen.

INDLEDNING

Uønskede hændelser i forbindelse med el kan føre til betydelige materielle skader samt risiko for liv og helbred.

På landbaserede anlæg indeholder bekendtgørelse om sikkerhed ved arbejde i og drift af elektriske installationer Bek. nr. 1082 af 12. juli 2016 og DS/EN 50110-1:2023 klare retningslinjer for at sikre sikkerheden.

I bekendtgørelsen og tilhørende standard (DS/EN 50110-1) beskrives tre hovedkategorier for arbejde på eller nær ved elektriske installationer: arbejde under spænding, arbejde nær ved spænding og arbejde uden spænding.

Valg af metode afhænger af spændingsniveau, risikovurdering og de tekniske/organisatoriske foranstaltninger, der er truffet.

Når du arbejder, eller udfører arbejde under spænding, kan uønskede hændelser resultere i, at betydelige mængder energi frigives.

Selvom bekendtgørelse og standarden giver klare retningslinjer for at undgå farlige berøringsspændinger, giver de begrænset information om farerne ved høje energiniveauer.

En lysbue er en lysende, krum strømvej, der går mellem to elektroder i luft.

En lysbue opstår, når en elektrisk spænding påtrykkes og overstiger gassens gennembrudsspænding.

Når en lysbue opstår, kan store mængder varmeenergi frigives.

Mængden af energi, som en lysbue genererer, øges med lysbuens strømstyrke og varighed.

Den største samlede mængde energi, som en lysbue kan frigøre på en given afstand fra hændelsesstedet, inden den slukker, kaldes hændelsesenergi.

Denne energi angives i cal/cm^2 .

Hændelsesenergien angiver den potentielle fare, som en lysbue kan udgøre, og om det er nødvendigt at træffe foranstaltninger for at reducere denne energi.

I Febdok kan du beregne denne hændelsesenergi.

For at sikre tilstrækkelig sikkerhed for personalet er det i mange tilfælde nødvendigt at have kendskab til den potentielle energimængde i tilfælde af en hændelse.

Denne vejledning har til formål at forklare de farer, årsager og konsekvenser, der er forbundet med lysbuehændelser.

Derudover beskrives kravene – især i DS/HD 60364-serien (DS-håndbog 183) – og hvordan Febdok kan være et værdifuldt værktøj til at opretholde sikkerheden.

DEFINITIONER

I vores arbejde med standardisering ser vi, at en fælles forståelse af begreber er vigtig for at opnå korrekte og hurtige løsninger – og for at undgå misforståelser. Her fremhæver vi vigtige termer, der anvendes i dette dokument:

- *Lysbue*

En elektrisk lysbue er en lysende, krum strømvej, der går mellem to elektroder i luft.

- *Lysbueenergi / Hændelsesenergi*

Den største samlede energimængde på en given afstand fra hændelsesstedet, som en lysbue kan skabe, inden den slukker. Angives i kalorier pr. kvadratcentimeter (cal/cm^2).

- *Elektrodeafstand*

Den mindste afstand mellem faser, hvor en lysbue kan opstå.

Hvor en lysbue kan opstå, afhænger af fordelings udformning. Normalt vil dette ske på horisontale eller vertikale uisolerede skinner i fordelingen, eller ved tilslutningspunkter med dæksel eller isolering, der er ringere end IP4X eller IP3xD.

- *Arbejdsafstand*

Den mindste afstand fra det sted, hvor lysbuen kan opstå, til kroppen og/eller hovedet. IEEE 1584 definerer arbejdsafstand som afstanden til krop og hoved under den arbejdsaktivitet, som beregningen baseres på.

- *Lysbuegrænse*

Den mindste afstand, hvor hændelsesenergien er under $1,2 \text{ cal/cm}^2$. Ved en hændelsesenergi lavere end dette er der normalt ikke behov for særlige foranstaltninger eller værnemidler.

RISICI

Der kan være mange årsager til, at der opstår en lysbue i en elektrisk installation.

Mulige årsager til lysbue:

- Støv og forureninger, der skaber en strømvej.
- Røg eller dampe fra kemikalier, som kan reducere luftens gennembrudsspænding.
- Korrosion/oxidering af kontaktpunkter og isolerende overflader.
- Ætsende stoffer, der fører til dårlige kontaktflader eller reduceret isolering.
- Gnistudladning ved utilsigtet kontakt mellem blotlagte dele.
- Tabte værktøjer.
- Overspændinger.
- Isoleringsfejl.

Konsekvenser af lysbue:

Lysbuer kan medføre temperaturer på op til 20.000°C .

De udsender desuden et kraftigt lysglimt, som er ca. 2000 gange kraftigere end almindelig kontorbelysning, en lydstyrke over 160 dB og et hurtigt trykstød på op til 1 bar inden for 15 ms. Kombinationen af høj varme, smeltede materialer og højt tryk gør, at hændelsesenergien får stor udbredelse i volumen omkring lysbuen.

Høje temperaturer på flere tusinde grader udgør en betydelig fare for huden – selv ved meget kort eksponering – og vil resultere i forbrændinger.

En forbrænding er en termisk, kemisk og/eller elektrisk skade på hud og/eller andre væv.

Typer af forbrændinger:

- *1. grads forbrænding:* Huden bliver rød og øm.
Anses for alvorlig, hvis den dækker mere end 10 % af kropsoverfladen.
- *2. grads forbrænding – overfladisk:* Blærer samt rødme og smerte.
Anses for alvorlig, hvis den dækker mere end 10 % af kropsoverfladen.
- *2. grads forbrænding – dyb:* Blærer, bleg/voksagtig hud samt eventuel rødme og smerte.
Anses for alvorlig, hvis den dækker mere end 1 % af kropsoverfladen.

- *3. grads forbrænding*: Hele hudens tykkelse er ødelagt.
Tør, uden blærer, hvid læderagtig hud og ingen smerte.
Anses for alvorlig, hvis den dækker mere end 1 % af kropsoverfladen.

Hændelsesenergi – Krav og risikovurdering

Ved planlægning, drift og arbejde på eller nær ved elektriske installationer skal der foretages en dokumenteret vurdering af elektriske farer, herunder risikoen for lysbue og den tilhørende hændelsesenergi.

Dette krav fremgår af:

- *Bek. 1082*: § 6 (grundbeskyttelse), § 7 (fejlbeskyttelse), § 8 (beskyttelse mod brand og forbrændinger, herunder lysbuer), § 9 (overstrømsbeskyttelse), § 32 (beskyttelsesudstyrets egenskaber), § 76 stk. 1 (krav om elektrisk risikovurdering), samt § 79 (instruktion af medarbejdere).
- *DS/EN 50110-1:2023*: pkt. 4.1 (Safe operation – risikovurdering før arbejde), pkt. 6.1.1 (planlægning og risikovurdering), bilag B.6 (Arc hazard – metoder og faktorer ved vurdering af hændelsesenergi).
- *Bemærkning (DS/EN 50110-1, pkt. 6.3.10)*: I lavspændingsanlæg beskyttet mod overstrøm/kortslutning gælder kun krav om isolering, afskærmning og PPE, medmindre kortslutningsniveauet kan nå et farligt niveau.
Ved sådanne niveauer — ofte i praksis fra ca. 6–10 kA — skal de generelle krav i 6.3.1–6.3.8 følges, herunder krav, der reducerer risiko for lysbuehændelser.
- *DS-håndbog 183*: HD 60364-4-41 (beskyttelse mod elektrisk stød – krav om hurtig frakobling), HD 60364-4-43 (beskyttelse mod overstrøm – dimensionering af ledere og beskyttelsesudstyr).

Indhold i risikovurderingen

Risikovurderingen skal som minimum omfatte (DS/EN 50110-1:2023, 4.1, 6.1.1 og bilag B.6):

1. *Identifikation af risici* – mulige fejl- og driftsforhold, der kan udløse en lysbue.
2. *Systemdata* – systemspænding, forventet kortslutningsstrøm, impedansforhold og beskyttelsens udkoblingstid (Bek. 1082 § 20 og § 32).
3. *Arbejdsafstand og zoneinddeling* – i forhold til DS/EN 50110-1:2023 pkt. 4.11 og tabel 1.
4. *Vurdering af hændelsesenergi* – fastlæggelse af, om energien kan overstige 1,2 cal/cm².
5. *Valg af foranstaltninger* – arbejdsmetode, tekniske løsninger og værnemidler (Bek. 1082 § 76-79, DS/EN 50110-1:2023 pkt. 4.6 og bilag B.6).

Bestemmelse af hændelsesenergi

Hvis risikovurderingen viser, at energien kan overstige sikre grænser, bør den bestemmes ved beregning efter anerkendt metode (bilag B.6 i DS/EN 50110-1:2023).

Beregningen bør tage udgangspunkt i:

- Arbejdsafstand (pkt. 4.11 og bilag A i DS/EN 50110-1:2023).
- Kortslutningsniveau (DS-håndbog 183, HD 60364-4-43, afsnit 431).
- Beskyttelsesudstyrets reaktionstid (Bek. 1082 § 32).
- Systemets jording og udførelse (Bek. 1082 § 27-28, DS-håndbog 183, HD 60364-4-41).

Resultatet bruges til at bestemme PPE-kategori i forhold til grænserne 1,2 – 4 – 8 – 25 – 40 cal/cm².

Krav til reduktion af hændelsesenergi

Bek. 1082 § 8 kræver, at installationer udføres, så der ikke er risiko for brand eller forbrænding som følge af høje temperaturer eller lysbuer.

Dette kan opfyldes ved en eller flere af følgende (tilpasset DS-håndbog 183 og HD 60364-4-43):

- *Fjernbetjening / sikker afstand* – fastlagt ved beregning af hændelsesenergi (DS/EN 50110-1:2023 pkt. 4.5).
- *Lysbueprøvede tavler* – konstrueret efter DS/EN IEC TR 61641.
- *Strømbegrænsende beskyttelse* – HD 60364-4-43, pkt. 434.
- *Lysbuereduktionssystemer* – hurtigudkobling, IAMS, AQD (Bek. 1082 § 32).
- *Beskyttelsesindstilling* – kortere udkoblingstid (DS/EN 50110-1:2023 bilag B.6).

Dokumentationskrav

Virksomheden skal kunne fremvise dokumentation for (Bek. 1082 §§ 32, 76 og 79):

- At risikovurdering er udført efter DS/EN 50110-1:2023 pkt. 4.1 og 6.1.1.
- At beregning af hændelsesenergi er udført, hvis relevant (bilag B.6).
- At valgte værnemidler (PPE) og arbejdsmetoder er i overensstemmelse med beregningsresultater.
- At krav til sikkerhedsafstande og zoneinddeling er overholdt (pkt. 4.11, DS/EN 50110-1:2023).

Denne fremgangsmåde opfylder de danske krav til sikkerhed mod elektriske farer fra lysbuer og sikrer overensstemmelse med både Bek. 1082, DS/EN 50110-1:2023 og DS-håndbog 183.

Konklusion:

Selve standardteksten opstiller ikke et obligatorisk, normativt krav om at beregne hændelsesenergien, men den gør det til et krav, at der udføres en dokumenteret risikovurdering af elektriske farer.

I bilag B.6 fremgår det tydeligt, at en sådan vurdering kan og bør indeholde beregning af hændelsesenergi efter metoder som IEEE 1584, hvis der er risiko for lysbue.

I praksis vil man derfor være nødt til at beregne den for at kunne dokumentere, at risikoen er korrekt håndteret, især når der skal vælges PPE og arbejdsmetode.

VÆRNEMIDLER (TØJ)

Lysbuesikre beklædningsdele skal være testet i overensstemmelse med anerkendte standarder og mærket i henhold til disse.

Ved høje energimængder skal der anvendes tøj med højere beskyttelsesniveau.

Leverandøren af beklædningen skal kunne rådgive, så du kan vælge det rette tøj afhængigt af, hvilken fare du kan blive udsat for.

Beskyttelseskategorier

Personligt beskyttelsesudstyr kaldes Personal Protection Equipment (PPE) og kategoriseres efter hændelsesenergi (ref. amerikansk standard NFPA 70E).

- *PPE-kategori 0* kræver ikke lysbuesikkert tøj.
- For hændelsesenergi over PPE-kategori 4 anbefales arbejde kun på en frakoblet installation.

Febdok angiver arbejdsafstanden relateret til PPE-kategorierne sammen med en farvekode.

PPE-kategori	cal/cm ²	Farve i Febdok
0	< 1,2	
1	< 4	
2	< 8	
3	< 25	
4	< 40	

HVORDAN FEBDOK BEREGNER HÆNDELSESENERGI

Med Febdok kan du beregne hændelsesenergien efter metoderne i IEEE 1584:2002 og IEEE 1584:2018.

Resultatet af beregningen giver svaret på hændelsesenergien ved den givne arbejdsafstand.

Febdok angiver også resultatet i forhold til PPE-kategorier og grænseværdierne 1,2 – 4 – 8 – 25 og 40 cal/cm².

Beregningsmodellen i IEEE 1584 er baseret på 3-polet kortslutningsstrøm.

Da hændelsesenergien kan være størst ved den laveste fejlstrøm, har Febdok valgt at beregne ved både *I_{k3p-max}* og *I_{k3p-min}*.

Hændelsesenergien er et produkt af lysbuestrømmens værdi i ampere og dens varighed.

Ved en lav lysbuestrøm (med *I_{k3p-min}* som udgangspunkt) kan beskyttelsens udkoblingstid være længere, hvilket kan resultere i højere hændelsesenergi sammenlignet med en høj lysbuestrøm med kortere udkoblingstid.

Febdok udfører følgende:

1. Beregner *I_{k3p-max}* og *I_{k3p-min}*.
2. Beregner lysbuestrømmen i ampere efter modellen angivet i IEEE 1584.
3. Bestemmer varigheden af lysbuestrømmen ud fra beskyttelsens indstillinger (standardstartpunkt).
4. Beregner hændelsesenergien ved arbejdsafstanden samt afstandene for grænseværdierne 1,2 – 4 – 8 – 25 og 40 cal/cm².

Hvis hændelsesenergien ved standardstartpunktet er så høj, at den indikerer fare ved drift eller arbejde i fordelingen, skal der også overvejes andre løsninger eller metoder.

Andre metoder kan være:

- Separat beskyttelsesindstilling, hvis personer skal betjene/arbejde i fordelingen.
- Anvendelse af beskyttelsens ERMS-funktion.
- Kun arbejde på strømløs installation.
- Særlig konstruktion af fordelingen.
- **Lysbuevagt**

Lysbuevagter – et effektivt teknisk sikkerhedstiltag

En lysbuevagt (Arc Flash Relay) er et hurtigtvirkende sikkerhedssystem, der reducerer varigheden af en elektrisk lysbue og dermed sænker den hændelsesenergi, der kan ramme medarbejdere ved en fejl.

Systemet detekterer den intense lysudladning, og i nogle løsninger også strømhoppet, der opstår, når en lysbue initieres.

Herefter sender lysbuevagten et øjeblikkeligt trip-signal til afbryderen, så installationen kobles fra på få millisekunder.

Hvor en traditionel afbrydelse kan tage 60–200 ms eller mere, kan en lysbuevagt typisk afkorte fejlen til 1–5 ms.

Den ekstremt korte afbrydelsestid reducerer hændelsesenergien markant og kan ofte flytte PPE-kravet flere kategorier ned.

Derfor anbefales lysbuevagter især i tavler med høje kortslutningsstrømme, lange kabellængder eller anlæg hvor personrisikoen er særlig kritisk.

I praksis betyder det, at en installation med en høj beregnet hændelsesenergi i Febdok ofte kan bringes ned på et sikkert niveau blot ved at inddrage lysbuevagtens reducerede afbrydelsestid i beregningen.

Teknologien er derfor et vigtigt element i både projektering, risikovurdering og KLS-dokumentation for virksomheder, der ønsker at arbejde systematisk med Lysbuesikkerhed.

Bestemmelse af lysbuestrømmens varighed

Metode 1

Febdok bruger beskyttelsens strøm-/tid-kurve til at bestemme lysbuestrømmens varighed. Dette svarer til det, der tidligere blev kaldt *standardstartpunktet*.

Metode 2

Febdok tillader en separat beskyttelsesindstilling (*Arc Fault Setting*).

Ved at aktivere en separat indstilling for beskyttelsen kan du tilføje andre indstillinger end ved normal drift.

Dette kan bevirke hurtigere udkobling, hvilket reducerer hændelsesenergien.

En separat indstilling kan aktiveres via signal til en afbryder eller ved manuel omskiftning/indstilling af beskyttelsen.

Metode 3

Febdok giver mulighed for at tilsidesætte tiden, der bruges som grundlag for lysbuetiden.

Denne tid er ikke knyttet til en faktisk enhed eller indstilling i Febdok.

Det åbner med andre ord for andre løsninger.

Det er vigtigt at bemærke, at den angivne tid er den samlede tid fra lysbuehændelsen opstår, til den registreres, og til endelig udkobling via et beskyttelseselement eller andet udstyr.

Af flere grunde kan det være hensigtsmæssigt at bruge en anden beskyttelsesindstilling eller andet udstyr til at slukke en lysbue – fx hvis hændelsesenergien ved normale beskyttelsesindstillinger er så høj, at den ikke kan accepteres, eller hvis det er ønskeligt at bruge andet udstyr end selve beskyttelsen.

Beregning af en fordeling og/eller dele af en fordeling

Febdok kan beregne begge dele.

Beregningen kan foretages i data for fordelingen eller data for grupperingen, forudsat at der findes beskyttelse før fordelingen/grupperingen.

Hvis du vil beregne et specifikt felt i en fordeling, kan dette felt oprettes som en gruppering, hvor beregningen i grupperingen baseres på beskyttelsen af grupperingen.

IEEE 1584:2002 KONTRA 2018

Hændelsesenergien, der beregnes i Febdok, er baseret på IEEE 1584-standarden. Standarden er udgivet i to versioner – den første i 2002 og den seneste i 2018. I Febdok kan du vælge at bruge begge versioner.

Fælles for de to versioner er, at de beregningsformler, der præsenteres, er empirisk udarbejdede ud fra målte værdier i laboratorieforsøg.

Den største forskel er, at 2018-versionen bygger på flere test og derfor har en mere omfattende beregningsmodel.

Sammenligning af de vigtigste forskelle:

	IEEE 1584:2002	IEEE 1584:2018
Antal test, som standarden bygger på	Ca. 300 test	Over 1800 test
Konfigurationer	Åben/fri luft – kapslet	VCB – Vertical Closed Box VCBB – Vertical Closed Barrier Box HCB – Horizontal Closed Box VOA – Vertical Open Air HOA – Horizontal Open Air
Dimensioner af kapsling	Ikke relevant	Højde, bredde, dybde. Grænsefladen med skillerum omkring punktet, hvor lysbuen kan opstå, eller tavlens kapsling, hvis der ikke er interne skillerum. Ikke relevant for åben-luft-konfigurationer (VOA og HOA).

Valget af beregningsmetode og konfiguration afhænger af, hvor meget der er kendt på beregningstidspunktet.

Hvis der ikke er tilstrækkelig information til at foretage en beregning efter 2018-versionen, vil 2002-versionen i de fleste tilfælde være tilstrækkelig.

I 2018-versionen er der identificeret flere faktorer, som enten kan øge eller reducere hændelsesenergien sammenlignet med 2002-versionen.

Derfor kan man ikke generelt sige, at den ene version giver højere værdier end den anden.

INPUT TIL FEBDOK

Det skal aktivt vælges, om IEEE 1584:2002 eller 2018 skal bruges som grundlag for beregningen.

IEEE 1584:2002

- Konfiguration: Er fordelingen kapslet eller åben?

- Afstand mellem elektroder: Afstanden mellem elektroderne, hvor lysbuen opstår. Lysbuestrømmen er omvendt proportional med denne afstand. Typiske værdier i IEEE 1584:2002 er 32 mm for *Low-voltage switchgear* og 25 mm for *Low-voltage MCC-and panelboards*.
- Arbejdsafstand: Afstanden mellem personens hoved/krop og hændelsesstedet. Standardens anbefaling: 610 mm for *Low-voltage switchgear* og 455 mm for *Low-voltage MCC-and panelboards*.

IEEE 1584:2018

Konfiguration:

- VCB – Vertikale elektroder i metallisk kapsling
- VCBB – Vertikale elektroder afsluttet mod isolerende barriere i metallisk kapsling
- HCB – Horisontale elektroder i metallisk kapsling
- VOA – Vertikale elektroder i fri luft
- HOA – Horisontale elektroder i fri luft

I lavspændingstavler er det især VCB og VCBB, der er relevante.

Det kan derfor være hensigtsmæssigt at lave beregning for begge og vælge den, der giver den højeste hændelsesenergi.

Afstand mellem elektroder: Som i 2002-versionen – typisk 32 mm for *Low-voltage switchgear* og 25 mm for *Low-voltage MCCs and panelboards*.

Kapslingens størrelse:

- *Low-voltage switchgear:* 508 × 508 × 508 mm (H × B × D)
- *Low-voltage MCCs and panelboards:* 355,6 × 304,8 × 203,2 mm (H × B × D)

Arbejdsafstand: 609,6 mm for *Low-voltage switchgear*, 457,2 mm for *Low-voltage MCCs and panelboards*.

OUTPUT FRA FEBDOK

Beregning af maksimal fejlstrøm

- *Fejlstrøm:* Den største 3-polede kortslutning, der kan opstå på hændelsesstedet.
- *Hændelsesenergi:* Den højeste beregnede hændelsesenergi for fordelingen ved den angivne arbejdsafstand – afgørende for valg af tøj.
- *Lysbuegrænse:* Afstanden, hvor hændelsesenergien er lig med 1,2 cal/cm².
- *Lysbuestrøm:* Altid lavere end maksimal 3-polet fejlstrøm. Lysbuestrømmen sammenholdt med beskyttelsens udkoblingskarakteristik bestemmer lysbuetiden.
- *Lysbuetid:* Tiden, det tager at bryde lysbuestrømmen. Hændelsesenergien stiger proportionalt med lysbuetiden.

Beregning for minimal fejlstrøm

Udgangspunkt i *Ik3p-min*.

Lavere lysbuestrøm kan betyde, at beskyttelsesindstillingerne giver meget længere udkoblingstid – fx 29,097 sekunder.

Da hændelsesenergi = strøm × tid, kan det værste tilfælde lige så godt være ved lav fejlstrøm som ved høj.

I praksis kan andre forhold medføre, at udkobling sker tidligere, eller at lysbuen ikke opretholdes så længe. Dette skal vurderes i en risikovurdering af designeren, da Febdok ikke vurderer dette.

Rapportering

- *PDF*: Indeholder en oversigt over beregnede værdier samt antagelserne bag hvert enkelt beregningspunkt.
- *CSV*: Indeholder alle beregnede værdier samt beskyttelsesindstillinger, så data kan viderebearbejdes i fx Excel.