



Lysbuefare i tavler

Guide for vurdering av skadebegrensende tiltak og bruk av riktig personlig verneutstyr



- et temahefte fra Tavleforeningen

Forfattere:
Hans-Petter Nybakk

Versjon 2.0

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Formål med temaheftet - Lysbuefarer i tavler	3
Lysbuefenomen i tavler	4
Årsaker til lysbuekortslutninger	5
Lysbuens ødeleggende krefter / Hendelsesenergi	5
Beskyttelseskrav i forskrifter	6
Tiltak for å hindre lysbuer og begrense skadeomfanget	7
- Innvendige skiller iht NEK 439-2	7
- Redusere energinivået	8
- Fjernstyring / overvåkning	9
- Lysbuevakt	9
- Lysbuevern / lysbueslukker	9
- Lysbuesikre tavlesystemer	9
Serielysbuer	10
Beskyttelsesklær	11

Forord

Materialet i denne publikasjonen er utarbeidet for Norsk Eltavleforening. Originalarbeidet er ved Hans-Petter Nybakk, som har vært ansvarlig for publikasjonen.

Norsk Eltavleforening
Postboks 73
N-1325 Lysaker, Norway

Andre utgave, 03.10.2021

© Norsk Eltavleforening og Hans-Petter Nybakk har opphavsrett til denne publikasjonen – 1. utgave
Ingen del av materialet må reproduseres på noen form for medium.
For opphevelse av Copyright kreves i hvert enkelt tilfelle skriftlig avtale med opphavsretts-
innehavere.

Formålet med temaheftet – Lysbuefare i tavler

Elektrotavler blir ofte prosjektert og utført uten vurdering av risiko ved lysbuer og hvilke konsekvenser slike feil kan ha. Tavlenormen NEK 439 beskriver generelle og obligatoriske krav til utførelse og verifikasjon av tavler og gir i tillegg noen føringer for behovsorientert tilvalg av sikkerhetsløsninger. Disse velges for prosjekter som krever høyere grad av personsikkerhet, bedre beskyttelse mot inntrenging av faste legemer, redusert skadeomfang ved lysbuefeil og økt driftssikkerhet.

Ekstra tiltak mot lysbuefeil i tavler, som går utover spesifikasjonene i NEK 439, kan iverksettes ved bruk av særskilt beskyttelsesutstyr eller bruk av testede lysbuesikre tavleløsninger. Slike tiltak blir ofte iverksatt i offshore-industrien men også til dels i landbasert industri. På tross av stort farepotensiale blir allikevel vurdering av lysbufarer forsømt ved planlegging og utførelse av tavler i mange andre typer bygg og anlegg.

Lysbuefaren, graden av beskyttelse og hvilke tiltak som skal iverksettes må bestemmes på grunnlag av en risikovurdering for det aktuelle anlegget, og spesifiseres på en entydig måte slik at det blir samsvar mellom kundens behov/ønske og tavleleverandørens endelige utførelse. Dette heftet er ment som en guide for behovsorientert spesifisering og valg av beskyttelsestiltak for å hindre at lysbuefenomen oppstår samt for å redusere skadeomfanget ved lysbuefeil i tavler.



Lysbuefenomenen i tavler

Kortslutning i tavler oppstår når to strømførende ledere kommer i direkte kontakt med hverandre. Når en kortslutningsstrøm passerer gjennom et isolasjonsmedium, som oftest luft, istedenfor gjennom elektrisk ledende materiale, oppstår en lysbue. Lysbuer som oppstår mellom ledere i parallell med lasten, kalles for parallell-lysuer.

På grunn av at impedansen i feilstedet ofte blir høy, vil lysbuestrømmen bli for lav til at kortslutningsvernet bryter energitilførselen momentant, og dermed ikke tidsnok til å forhindre at et betydelig skadeomfang oppstår.

Når en lysbue oppstår i tavlen, forårsaker den

- Kraftig lysglimt ca.2000 ganger kraftigere enn kontorbelysning
- Kraftig lyd som kan overstige 160dB
- Ekstrem høy temperatur høyere enn 20.000°C
- Hurtig trykkøkning opp til 1 Bar innen 15ms.

Konsekvensen av en lysbue er ofte at det oppstår moderate til store skader på tavlen og utstyr i nærheten.

Siden lysbuer ofte oppstår under service- og vedlikeholdsarbeid, er det også stor fare for alvorlig personskade eller død.

En lysbueskadet tavle setter det elektriske anlegget ut av drift i lang tid og forårsaker kostbare reparasjoner, og i tillegg store ulemper og kostnader på grunn av driftsstans.



Illustrasjon: Trainor Elsikkerhet AS

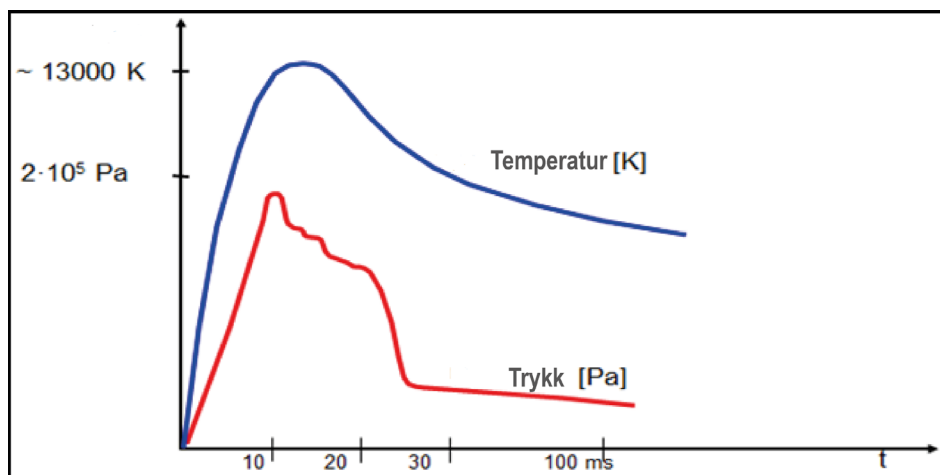
Årsaker til lysbuefeil

Lysbuer oppstår oftest i eldre tavler som konsekvens av andre feil og svært ofte under service og vedlikehold. Eksempler på årsak kan være:

- Aldring av isolasjonsmaterialer
- Støv og fett på grunn av dårlig beskyttelse mot ytre påvirkninger, samt mangel på rengjøring og annet vedlikehold
- Varmgang i tavler
- Menneskelig svikt på grunn av uaktsomhet, mangelfull risikovurdering før vedlikeholdsarbeid, prosedyrefeil og feil betjening
- Små dyr som mus, insekter, fugler ol
- Isolasjonsbrudd i gamle komponenter

Lysbuens ødeleggende krefter / Hendelsesenergi

Ved en kraftig lysbuekortslutning oppstår et høyt smell og en kraftig trykk- og temperaturøkning oppstår innen 15 ms. Tavlens frontplater og andre metallfragmenter kan blåse ut i tavlerommet samtidig med smeltet kobber, metalledamp og giftige gasser.

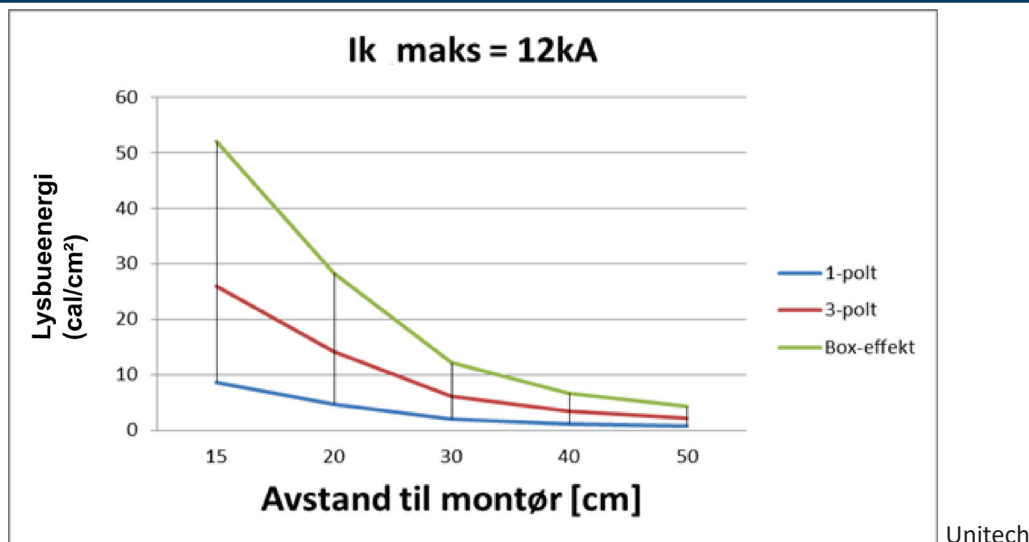


Eaton

Store personskader kan bli påført i hendelsesøyeblikket, og de materielle ødeleggelsene øker avhengig av hvor lang tid det tar før bryteren løser ut og kobler fra strømtilførselen.

Selv om tavlens kortslutningsvern løser ut momentant (20-50ms), vil dette være for lang tid for å unngå trykk og temperaturskader ved lysbuekortslutninger.

Når en kortslutning med lysbue oppstår, frigjøres en energi som i hovedsak er avhengig av lysbuens varighet og avstanden til lysbuen. Denne hendelsesenergien beregnes og oppgis i cal/cm^2 eller J/cm^2 , en verdi som gir uttrykk for den potensielle faren ved en gitt avstand fra tavlen. Beregning av hendelsesenergien utføres på grunnlag av opplysninger om anlegget som driftsspenning, forventet kortslutningsstrøm, kortslutningsvernets utløsetid og hva som er koblet til som strømkilder og forbrukere. Hendelsesenergien beregnes i en gitt avstand fra steder i tavla hvor lysbuer kan oppstå, og man får på denne måten et uttrykk for risikonivået foran tavla. Beregninger utføres som oftest i samsvar med metodene i en amerikansk standard IEEE 1584.



Kurvene i figuren over viser beregnet hendelsesenergi i avstand fra 15-50 cm fra lysbuestedet. Rød og blå kurve viser energien ved 3-polt og 1-polt kortslutning. Grønn kurve viser energien foran en kapslet tavle som ikke er konstruert for avledning av trykk og varme i topp og bakvegg slik at tavlefronten blir det svakeste ledd (box-effekt)

Hendelsesenergiens størrelse indikerer hva som er trygg avstand fra tavlen. Den er førende for valg av beskyttelsesbekledning ved service, og eventuelle andre tiltak for å redusere den tiden som en lysbue varer, eller andre beskyttelsestiltak.

REN-blad 1710 er en lysbuekalkulator, som er et enkelt verktøy for beregning av lysbueenergi. I kompliserte anlegg kan det anbefales å få bistand fra konsulenter som har spesialisert seg på området.

Beskyttelseskrav i forskrifter


Sikkerhetskrav i elektriske anlegg i Norge er hovedsakelig beskrevet i følgende forskrifter:

- Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg – FEL
- Forskrift om elektriske forsyningsanlegg – FEF
- Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg - FSE

Tavler i anleggene betraktes som en del av det elektriske anlegget og omfattes derfor også av forskriftene.

Ved prosjektering og beskrivelse av tavleanlegg skal det alltid sørges for design, konstruksjon og beskyttelsestiltak for det aktuelle behovet for betjening, service og vedlikehold. Drifts- og servicepersonell skal alltid kunne utføre sitt arbeid i tavler uten å bli utsatt for fare, ved å benytte egnet verktøy og riktig personlig verneutstyr. Forskriftene stiller videre krav til planlegging og risikovurdering av alle arbeidere i spenningsatte tavler. For valg av personlig bekledning og verneutstyr, må hendelsesenergien ved lysbuekortslutninger være kjent. Anleggseiere har et overordnet ansvar for å kjenne til farepotensialet i det elektriske anlegg, og at informasjon om farenivået (hendelsesenergi) formidles på skilt på døren til eller i tavlerommet.





ADVARSEL!
LYSBUEFARE
VERNEUTSTYR PÅKREVD

Tag. nr.	25-EL-335	Kroppsavstand	45.5 cm
Spenning	400 V	Sikker avstand fra lysbue eksponering	193 cm
Kortslutningsstrøm I _{k max}	10 kA	Intern lysbue klassifikasjon	Ja
Hendelsesenergi	8 cal/cm ²	Referansetegninger	SLD-E-25-EL-335
PPE-kategori (personlig verneutstyr)	2		

Illustrasjon:
Trainor Elsikkerhet AS

Tiltak for å hindre lysbuefeil og begrense skadeomfanget

For utførelse av alle typer tavler er det alltid et teknisk regelverk (forskrifter og normer) som skal legges til grunn. Tavlenormen NEK 439 omfatter imidlertid ikke beskrivelse, og krav til utførelse, som er dedikert for å hindre at lysbuer oppstår, eller tiltak for skadebegrensning eller personsikkerhet ved lysbuefeil.

Som forebyggende og skadebegrensende tiltak mot lysbueskader kan nevnes:

- Innvendige skiller iht NEK 439-2
- Redusere energinivået
- Fjernstyring / -overvåking
- Tavlen utstyres med lysbuevakt som detekterer lysbuen
- Tavlen utstyres med lysbuevern som slukker lysbuen
- Tavlen bygges i lysbuesikker utførelse i samsvar med IEC/TR 61641

Innvendige skiller i tavler (Form utførelse)

Tavleløsninger med innvendige skiller og seksjonering i samsvar med NEK 439-2, er hovedsakelig tiltak for ekstra beskyttelse mot berøring og inntrenging av faste partikler. Med innvendige skiller i tavler, Form 3 eller 4, vil man imidlertid alltid også oppnå en redusert mulighet for at lysbuefeil oppstår. En tavle med funksjonsenheter i separate rom, med separate dører, er alltid en tryggere og mer beskyttet arbeidsplass ved betjening og service. Og hvis en gryende lysbue skulle oppstå i en funksjonsenhet, vil skillevegger redusere muligheten for at ioniserte gasser fra feilstedet siver opp i tavlen, og gjentenner en større primærlysue på hovedsamleskinnene.

Typiske arrangement for innvendige skiller er beskrevet i NEK 439-2 Tabell 4, og klassifisert som «Form» -utførelser. Typen av interne skiller, og høyere grader av beskyttelse er kundekrav, og utformingen skal avtales mellom tavlefabrikant og bruker. Interne skiller, for økt lysbuesikkerhet i tavler, skal ha beskyttelsesgrad minst IP2X mellom seksjoner, og utføres med skilleplater av metall.

For ytterligere beskrivelse av Form-løsninger, se temahefte Ekstra sikkerhet i tavler



Fordelingstavle i utførelse form 4b

Redusere energinivået

For å oppnå størst mulig sikkerhet, og lite skadeomfang, vil det alltid ha stor effekt å redusere hendelsesenergien. Viktig tiltak her vil være å sørge for riktig innstilling av kortslutningsvernet, slik at det kan koble momentant ut når en aktuell lysbuestrøm oppstår.

Noen modere effektbrytere har i tillegg en særskilt service-innstilling, som setter vernet i en posisjon som gir ultra-hurtig utkobling, selv ved en langt lavere kortslutningsstrøm enn den som gjelder for normal drift. Denne funksjonen detekterer lave lysbuestrømmer, og sørger for momentan utkobling hvis feil oppstår under arbeid i tavlen. Denne sikkerhetsfunksjonen avstilles ved å sette vernet tilbake i normal driftsmodus etter avsluttet vedlikeholdsarbeid. Sikkerhetsfunksjon, med ultra-rask utkobling av lysbuekortslutninger, kan aktiveres direkte på bryteren, eller fjernbetjenes før servicepersonell går inn i tavlerom som kan være utsatt for høy hendelsesenergi.

Det er imidlertid viktig å merke seg at ved momentan utkobling av vernet vil allikevel en lysbuefeil kunne forårsake noen trykk- og temperaturskader.

Fjernstyring / overvåking

Når personsikkerhet er viktig, og den potensielle hendelsesenergien er høy, kan et viktig forebyggende tiltak være at tavler utstyres med fjernbetjening og overvåkingssystemer, slik at tilstedeværelse av personell ikke er nødvendig ved betjening av spenningsførende tavler.

Lysbuevakt

Når en lysbuefeil oppstår i tavlen, er ofte impedansen i feilstedet høy. Feilstrømmen blir for lav til at vernet kobler ut strømtilførselen momentant, noe som forårsaker at lysbuen blir tilført energi i lang tid.

For å detektere en lysbue kan en lysbuevakt installeres i tavlen, for å sikre at vernet kobler ut momentant også ved lave lysbuestrømmer. Optiske følere monteres på strategiske steder i tavlen for å detektere lyset fra lysbuen og gi utkoblingssignal til kortslutningsvernet. Ved momentan utkobling av vernet vil allikevel en lysbuefeil kunne forårsake noen trykk- og temperaturskader.

Lysbuevern / lysbueslukker

For at skadeomfang ved lysbuefeil skal kunne elimineres, må tavler utstyres med lysbuevern. Slikt utstyr registrerer feilstrømmen og detekterer lys, som iverksetter en slukkemekanisme som kveler lysbuen på få millisekunder, hvoretter den sørger for momentan utkobling av tilførselen. Lysbuen slukkes før farlig trykk og temperatur oppnås.

Lysbuevern, som sikkerhetsutstyr i tavlen, er en fornuftig investering i kritiske installasjoner, hvor kostbart utstyr skal beskyttes, og lang tids driftstans vil få store praktiske og økonomiske konsekvenser.

Lysbuesikre tavlesystemer

Tavler kan konstrueres og installeres med særskilte tiltak for å tåle trykkøkning og høye temperaturer ved kortslutning og lysbuer. Som tidligere nevnt omfatter ikke NEK 439 systemløsninger og testprosedyrer for lysbuesikre tavler. En særskilt norm, IEC/TR 61641 beskriver imidlertid testprosedyrer for utprøving av tavlesystemenes beskyttelsestiltak og konstruksjon, for å tåle konsekvensene når lysbuer oppstår. Normen beskriver tiltak og barrierer, som alle må være tilstede for person- og utstyrsbeskyttelse. Blant annet må alle dører i tavlen være lukket, med alle låsmekanismer intakt for at tavlefronten ikke skal blåse ut i tavlerommet og forårsake skader på mennesker. Et annet eksempel på slike konstruksjonstiltak, er at trykket må kunne ledes ut i kabelfelt og opp, for å slippe ut i luker/spalter i tavletopp. Ofte må tavler i tillegg monteres med en avstand fra vegg, og det må tas hensyn til trykkøkning i hele tavlerommet.



Illustrasjon:
Trainor Elsikkerhet AS

For å oppnå en lysbuesikker tavle må tavleprodusenten anvende et tavlesystem, som er testet for lysbuesikkerhet i samsvar med spesifikasjonene i IEC/TR 61641, og utføre montasjen i samsvar med systemleverandørens spesifikasjoner.

Serielysbuer

En serielysbue er en lysbue, eller gnist, som oppstår i serie med lasten, ved dårlig kontakt i tilkoblingspunkter, eller ved ledningsbrudd. I en slik situasjon må strømmen som går gjennom lasten også passere luft, og det oppstår lysbue. Det er svært stor risiko for at serielysbuer kan oppstå i gamle, slitte holdere for skrusikringer i eldre installasjoner, eller i dårlig tilskrudde koblingsklemmer. Ledningsbrudd forårsakes gjerne av at lederen utsettes for en mekanisk kraft, som lager sprekk eller brudd i lederen. Slike kontaktfeil, med lysbue- og temperaturutvikling, er i dag en vanlig årsak årsak til at det oppstår brann i bygninger.

Serielysbuer oppstår oftest ute i installasjonen, og tilløp til feil er vanskelig å oppdage. Vern som detekterer serielysbuer kan imidlertid installeres i tavlen, og anbefales spesielt for de kurser som er særskilt utsatt, f.eks tilførsler til soverom.

En serielysbue kan også oppstå når man manuelt skal bryte en høy strøm i tavler. Koblingsutstyr som lastbrytere og effektbrytere er konstruert for hurtig lukking og bryting, slik at serielysbuer ikke oppstår.

Det er imidlertid et større faremoment knyttet til betjening av sikringskillebrytere med knivsikringer ved full belastning i kretsen. Langsom betjening, ved høy last, må derfor utføres med tilstrekkelig verneutstyr som hjelm, visir og hansker. Størst sikkerhet oppnås ved å koble ut laster, slik at kretsen er ubetydelig belastet før manuell utkobling. Betjening av sikringskillebrytere med knivsikringer krever alltid sakkyndig eller instruert personell.

Av sikkerhetsmessige grunner anbefales ikke sikringskillebrytere med knivsikringer i nye tavler i dag, mens betjening i eldre tavler må sikres ved riktig bruk av personlig verneutstyr.



Eldre tavle med sikringskillebryter

Beskyttelsesklær og -utstyr for drifts- og servicepersonell

Med riktig beskyttelsesutstyr, og iverksetting av tiltak for å forhindre personskade, skal betjening, service og vedlikehold av alle tavler kunne utføres på en trygg måte. Dette er et forskriftskrav som anleggseier har ansvar for å imøtekomme. Anleggseiere må kjenne til energinivået som kan frigjøres ved en lysbuekortslutning (hendelsesenergien), og som personell kan bli utsatt for. Denne hendelsesenergien er igjen bestemmende for hvilke type personlig beskyttelsesutstyr som, av sikkerhetsmessige grunner, skal anvendes under betjening.

Hvis hendelsesenergien i betjeningsavstand fra tavlen er lavere enn $1,2 \text{ cal/cm}^2$, er dette et nivå som ikke krever lysbuesikker bekledning. Hvis derimot energien beregnes til nivåer høyere enn 40 cal/cm^2 , er dette et ekstremt farlig nivå som normalt krever at arbeid kun kan utføres etter at tilførselen er frakoblet ved fjernbetjening.

Personlig verneutstyr for betjening av tavler kalles PPE (Personal Protection Equipment). Slikt utstyr graderes i kategorier i henhold til hendelsesenergi nivået som følger:

- PPE 0 < $1,2 \text{ cal/cm}^2$ Krever ikke lysbuesikker bekledning
- PPE 1 < 4 cal/cm^2
- PPE 2 < 8 cal/cm^2
- PPE 3 < 25 cal/cm^2
- PPE 4 < 40 cal/cm^2
- PPE X > 40 cal/cm^2 Ekstremt høyt farenivå



Eksempel på PPE - kategorier foran tavle
Illustrasjon: Trainor Elsikkerhet AS

Arbeidsklær og verneutstyr med sikker beskyttelse mot lysbuer, skal være testet i samsvar med gjeldende normer, og merket for aktuelt energinivå. Bekledning som er merket for bruk opp til 8 cal/cm², PPE 2, er anbefalt som standard for service og betjening i spenningsatte tavler. Slikt arbeidstøy er merket ATPV 8 (Arc Thermal Performance Value). Når kortslutningsstrømmer er høyere, og utkoblingstiden er lang, må personell anvende bekledning med høyere beskyttelsesnivå.



Bekledning
merket ATPV 8
for kategori PPE 2



Bekledning
merket ATPV 40
for kategori PPE 4

Illustrasjoner:
Trainor Elsikkerhet AS



Bekledning for arbeid i tavler under spenning (AUS)

Illustrasjoner:
Trainor Elsikkerhet AS

Referanser til aktuelle forskrifter/normer for betjening og arbeid i tavler, beregning av hendelsesenergi, kategorier for PPE-utstyr og lysbuesikre tavleløsninger.

Forskrift /Norm	Betegnelsen
FSE	Forskrift for sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg
NEK EN 50110-1	Norm for beskrivelse av metoder for oppfyllelse av FSE
IEEE 1584	Guide for performing arc flash hazard calculations (Amerikansk standard)
NFPA 70E	Standard for Electrical Safety in the Workplace® 4 Different Arc Flash PPE Categories (Personal Protective Equipment)
NEK IEC 61482	Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc – Part 2: Requirements
NEK IEC TR 61641	Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault















Velkommen som medlem i TAVLEFORENINGEN!

Vi ønsker oss flere medlemmer slik at vi kan styrke vår posisjon som bransjens talerør.

Medlemskap i Tavleforeningen gir:

- ✓ Rabatter på kurs og konferanser
- ✓ Tilgang til gode metoder og hjelpemidler
- ✓ Tilgang til personlige og faglige nettverk
- ✓ Veiledning og råd i faglige spørsmål
- ✓ Økt fagkompetanse og trygghet
- ✓ Mulighet til påvirkning og forbedring i tavlebransjen

Bli medlem: www.tavleforeningen.no

Tavleforeningen
Fornebuveien 37, 1366 Lysaker
Postboks 72, 1325 Lysaker
Tlf. 67 52 60 10
E-post: post@tavleforeningen.no

