

Råd og vejledning om varmforzinkning:

Måling af zinklagtykkelser



Det er i dag meget almindeligt, at der stilles krav til zinklagtykkelsen, når en stålkonstruktion skal korrosionsbeskyttes ved varmforzinkning. Det er derfor vigtigt, at lagtykkelsesmålingerne udføres, så de er reproducerbare og angiver den opnåede zinklagtykkelse med god nøjagtighed. I det følgende er det kort beskrevet, hvordan målingerne bør udføres ved den magnetiske målemetode, der er ikke-destruktiv og langt den mest anvendte. Målingerne udføres i henhold til DS/EN ISO 1461:2022, DS/EN ISO 2178, EN DS/EN ISO 2064 og de tilsvarende nationale standarder med enkelte praktiske tilpasninger.

1. Måleapparat

Måling udføres i dag hovedsageligt med elektroniske måleapparater, der kan kalibreres i det ønskede måleinterval. Måleprincippet er baseret på, at modstanden mod den magnetiske flux mellem målesonde og stålunderlag øges med stigende zinklagtykkelse.

1.1. Kalibrering af måleapparat

Måleapparatet kalibreres, eller kalibreringen kontrolleres, før måling påbegyndes.

Materiale

Kalibreringen skal udføres på en stålprøve med samme magnetiske egenskaber som måleobjektet. Da forskellen i magnetiske egenskaber for almindeligt anvendt varmvalset eller koldvalset konstruktionsstål er ubetydeligt, kan en stålprøve heraf generelt anvendes ved måling på disse stål. Før måling på støbegods eller hærkede stål skal kalibrering udføres på en prøve af tilsvarende materiale.

Overfladeruhed

Stålprøven, der anvendes til kalibrering, bør have en glatsleb og poleret overflade med mindst mulig overfladeruhed. Herved opnås den mest veldefinerede kalibrering og den bedst mulige reproducerbarhed i måleresultaterne.

DS/EN ISO 2178 anfører imidlertid, at kalibreringsstandard skal have samme overfladeruhed som måleobjektet, hvilket anses for at være uhensigtsmæssigt. Dels kan overfladeruheden på en stålkonstruktion variere meget, dels vil kalibrering på en ru overflade - som f.eks. en sandblæst overflade - hurtigt ødelægge kalibreringsfolierne. Endelig vil det oftest være umuligt at fremskaffe ikke-forzinkede prøver af stålet, der indgår i den varmforzinkede konstruktion, der skal kontrolleres.

Overfladegeometri

Ved måling på en krum overflade skal kalibrering foretages på en stålprøve med tilsvarende krumning for at undgå systematiske målefejl.

En alternativ mulighed er at udarbejde og anvende en korrektionstabel, der angiver den kalibreret på en plan ståloverflade. Målefejlen er apparatafhængig, men aftager med stigende krumningsradius. Med de fleste nyere måleapparater vil den systematiske målefejl være systematiske målefejl på overflader med forskellige krumningsradier, når måleapparatet er mindre end 5%, når der måles på rør eller rundjern med diameter over 100 mm. Dette bør kontrolleres for det enkelte apparat.

Måling tæt på en kant eller på et stålemne, der er meget tyndt, kan give anledning til målefejl. DS/EN ISO 1461:2022 angiver, at måling ikke skal foretages på emnekanter og på de yderste 10 mm af de tilgrænsende flader. Målefejlen vil da være ubetydelig for de fleste elektroniske apparater, hvis stålets godstykkelse samtidigt er 1 mm eller derover, men fabrikanten af måleapparatet giver normalt oplysninger herom i måleapparatets manual.

Kalibreringens udførelse og kontrol

Kalibreringen foretages med folier, der normalt er af plast og med kendte tykkelser, der dækker det ønskede måleområde. Ved større måleserier kontrolleres kalibreringen regelmæssigt ved måling på de samme folier, der anvendes til kalibrering. Måleværdierne kan registreres og anvendes som led i dokumentationen. Behovet for kontrol er apparatafhængigt.

2. Målenøjagtighed

Ifølge EN ISO 2178 skal kalibrering og måling udføres, så måleværdierne maksimalt afviger $\pm 10\%$ eller $\pm 1,5 \mu\text{m}$ fra den sande lagtykkelse, idet den største værdi er gældende. Metoden er i stand til at give større målenøjagtigheder.

Måleområdet overflade skal være fuldstændig ren før måling, da eventuelle belægninger af snavs eller korrosionsprodukter vil resultere i målefejl.

3. Lagtykkelseskrav ifølge DS/EN ISO 1461:2022

Kontrollens udførelse og omfang er refereret i nedenstående punkter:

1. Antal emner til stikprøvekontrol udtages i henhold til tabel 1.

2. Lagtykkelseskravet afhænger af emnernes godstykkelse,

hvor der er 6 forskellige klasser for ophængningsgods og 5 forskellige klasser for centrifugegods, som angivet i tabel 2 og 3.

3. Den lokale zinklagtykkelse bestemmes som gennemsnittet af minimum 5 aflæsninger på et afgrænset måleområde (referenceområde) på emnet.

4. Beregning af middeltinklagtykkelsen afhænger af emnernes overfladeareal, som angivet under pkt. 11.

5. Måleområdenes størrelse bør være minimum 1000 mm^2 ($= 10 \text{ cm}^2$).

6. Måling foretages mindst 100 mm fra emneender og mindst 10 mm fra kanter.

7. Måling foretages ikke på flammeskårne kanter.

8. Måleområderne (referenceområderne) skal udvælges, så de omfatter hele emnets tværsnit og så de er repræsentative for emnernes zinklagtykkelse.

9. Emnerne, der indeholder dele med flere forskellige godstykkelser, opdeles i de forskellige godstykkelses kategorier, der er angivet i tabel 2 eller 3. Hver godstykkelses kategori skal betragtes som et selvstændigt "emne".

10. Medmindre andet er aftalt, må referenceområder ikke vælges fra hjælpeelementer, når de er væsentligt mindre end hovedelene i et større emne. Hjælpeelementer kan være tyndere eller mindre reaktive under varmforzinkningen og omfatter fx empel afstivninger, endeplader og konsoller. Derfor foretages der ikke tykkelsesmålinger på disse hjælpeelementer.

11. "Emnerne" opdeles i 4 forskellige størrelsesklasser:

a) Areal $> 2 \text{ m}^2$ (Areal $> 20.000 \text{ cm}^2$)

Den lokale zinklagtykkelse bestemmes på mindst 3 måleområder pr. "emne", og alle værdier skal opfylde minimumskravet i DS/EN ISO 1461. Middeltlagtykkelser bestemmes for hvert enkelt "emne" i stikprøven som gennemsnittet af alle måleværdier, og skal opfylde minimumskravet i DS/EN ISO 1461:2022.

b) $10.000 \text{ mm}^2 < \text{Areal} < 2 \text{ m}^2$ ($100 \text{ cm}^2 < \text{Areal} < 20.000 \text{ cm}^2$)

Den lokale zinklagtykkelse bestemmes på mindst 1 måleområde pr. "emne", og alle værdier skal opfylde minimumskravet i DS/EN ISO 1461. Middeltlagtykkelsen bestemmes som gennemsnittet af måleværdierne for alle "emnerne" i stikprøven, og skal opfylde minimumskravet i DS/EN ISO 1461:2022.

c) $1.000 \text{ mm}^2 < \text{Areal} < 10.000 \text{ mm}^2$ ($10 \text{ cm}^2 < \text{Areal} < 100 \text{ cm}^2$)

Den lokale zinklagtykkelse bestemmes på 1 måleområde pr. "emne" og skal opfylde minimumskrav til lokal lagtykkelse i DS/EN ISO 1461:2022. Middeltlagtykkelsen bestemmes som gennemsnittet af alle måleværdier for alle "emner" i stikprøven, og skal opfylde minimumskravet i DS/EN ISO 1461:2022.

d) Areal $< 1.000 \text{ mm}^2$ (Areal $< 10 \text{ cm}^2$)

Flere emner samles, indtil der opnås et samlet overfladeareal på 1.000 mm^2 , der anvendes til bestemmelse af én måleværdi. Antallet af sådanne emnesamlinger, hvor lagtykkelsen skal bestemmes, er angivet i højre kolonne i tabel 1. Den enkelte måleværdi skal overholde krav til lokal lagtykkelse, og gennemsnittet af alle måleværdier skal overholde kravet til middeltinklagtykkelse ifølge DS/EN ISO 1461:2022.

Kravene til zinklagtykkelse ifølge DS/EN ISO 1461:2022 afhænger af stålets godstykkelse, som det fremgår af tabel 2 og 3, der er gældende for henholdsvis ophængningsgods og slynggods. De målte zinklagtykkelser skal således både opfylde minimumskravet til den lokale lagtykkelse og til middellagtykkelse, der beregnes for det enkelte emne eller for samtlige emner i stikprøven, afhængig af emnestørrelsen, som angivet i ovenstående pkt. 11. For yderligere oplysninger om lagtykkelseskontrollen henvises til DS/EN ISO 1461:2022.

Tabel 1. Stikprøvens størrelse i forhold til antal emner i partiet.

Antal emner i partiet	Minsta antal emner i stickproven
1-3	Alle
4-500	3
501-1200	5
1201-3200	8
3201-10000	13
Över 10 000	20

4. Lagtykkelseskontrol i praksis

Proceduren, der er angivet i DS/EN ISO 1461:2022, giver anledning til et omfattende arbejde med opdeling af de varmforzinkede emner i forskellige godstykkelses kategorier og med bestemmelse af overfladeareal for hver godstykkelses kategori. Dette er nødvendigt for at fastlægge antallet af måleområder og metoden for bestemmelse af middellagtykkelse i henhold til standarden.

Kontrolarbejdet kan lattes betydeligt, samtidigt med at der opnås en større sikkerhed i lagtykkelseskontrollen, med en mere praktisk anvendelig metode, som beskrevet nedenfor. Metoden indebærer, at der anvendes et større antal måleværdier end foreskrevet i DS/EN ISO 1461:2022, men til gengæld begrænses arbejdet med bestemmelse af overfladearealer til et minimum.

Proceduren omfatter kun stålemner, der har et samlet overfladeareal over 10.000 mm² (10x10 cm):

1. De varmforzinkede emner til stikprøvekontrol udtages ifølge tabel 1.

2. Delene af det varmforzinkede emne, der har haft længst dyppetid i zinksmelten og kortest dyppetid i zinksmelten lokaliseres, idet man her vil måle emnets højeste og laveste zinklagtykkelser henholdsvis. På et langt emne vil det være overfladerne ved emnets to ender, der har korteste og længste dyppetid. Lokalisering af det varmforzinkede emnes op-hængningspunkter kan eventuelt være en hjælp hertil, men i tvivlstilfælde kan enkelte orienterende lagtykkelsesmålinger på emnets hovedelement vise, hvor de laveste og højeste zinklagtykkelser forekommer. De orienterende lagtykkelsesmålinger registreres ikke.

3. Der bestemmes en måleværdi på alle indgående profiltyper og dimensioner, dels mod den ende af emnet, der har laveste zinklagtykkelse og dels mod den ende af emnet, der har højeste zinklagtykkelse, - altså 2 måleværdier pr. profiltipe og pr. dimension (se note 1).

4. En måleværdi (= lokal zinklagtykkelse) bestemmes som gennemsnittet af minimum 5 aflæsninger inden for et måleområde. Måleområdet skal - i det omfang det er muligt - omfatte hele profilet tværsnit, og aflæsningerne foretages ifølge DS/

Note 1:

På meget lange emner, kan der også bestemmes en måleværdi omkring midten af emnet. Meget lange emner kan være varmforzinkede ved dobbeltdypning, så det er overfladerne omkring midten af emnet, der har haft korteste dyppetid og har laveste zinklagtykkelse.

EN ISO 1461:2022 mindst 10 cm fra emnets ender og ikke på kanter eller inden for en afstand af 10 mm fra kanter. Det bemærkes, at de enkelte aflæsninger inden for et måleområde ikke anvendes.

5. Måling foretages ikke på flamme-, laser- eller plasmaskårne flader, med mindre andet er aftalt.

6. De lokale zinklagtykkelser registreres for det enkelte element/profil sammen med godstykkelsen, og målepositionerne angives eventuelt på en tegning eller en skitse af emnet.

7. Middeltzinklagtykkelser bestemmes for hvert emne som gennemsnittet af alle måleværdier inden for hver godstykkelses kategori.

8. Opfyldelse af lagtykkelseskrav:

a) Lagtykkelseskrav ifølge DS/EN ISO 1461:2022 er opfyldt, hvis hvert emnes middeltzinklagtykkelse og lokale zinklagtykkelser i hver godstykkelses kategori alle opfylder minimumskravene i tabel 2 eller 3.

b) Lagtykkelseskravene i DS/EN ISO 1461:2022 er ikke opfyldt, hvis en eller flere lokale zinklagtykkelser i et eller flere emner er under minimumskravet for lokal zinklagtykkelse i tabel 2 eller 3.

c) Hvis alle lokale zinklagtykkelser opfylder minimumskravet i tabel 2 eller 3, men en eller flere middellagtykkelser i et eller flere emner er under minimumskravet for middellagtykkelse i tabel 2 eller 3, er det nødvendigt at bestemme middellagtykkelsen nøjagtigt, som angivet i DS/ EN ISO 1461:2022 for de godstykkelses kategorier, hvor kravet til middellagtykkelse ikke er opfyldt.

Der foretages bestemmelse af overfladearealet for den (eller de) godstykkelses kategorier, hvor kravet til middellagtykkelse ikke er opfyldt:

1) Hvis godstykkelses kategoriens areal er over 2 m², er middellagtykkelsen allerede bestemt som angivet i DS/EN ISO 1461:2022, og kravet til middellagtykkelse er således ikke opfyldt.

2) Hvis godstykkelses kategoriens areal er mindre end 2 m², bestemmes middellagtykkelsen som gennemsnittet af alle måleværdier for den aktuelle godstykkelses kategori fra hele stikprøven. Det afgøres herefter, om denne korrekt bestemte middellagtykkelse opfylder kravet til middellagtykkelse efter DS/EN ISO 1461:2022, som angivet i tabel 2 eller 3.

Det skal dog bemærkes, at det er overholdelsen af minimumskravet til lokal zinklagtykkelse, der er langt væsentligst for korrosionsbeskyttelsens levetid.

5. Godkendelseskriterier

Hvis stikprøven overholder alle minimumskrav til lokal lagtykkelse og minimumskrav til gennemsnitslagtykkelse i tabel 2 og 3 er lagtykkelseskravene ifølge DS/EN ISO 1461:2022 opfyldt, og zinklagtykkelserne i emnepartiet, hvorfra stikprøven er udtaget, godkendes.

Hvis stikprøven ikke opfylder lagtykkelseskravene udtages en ny stikprøve med det dobbelte antal emner (eller alle emner, hvis dette antal er mindst) i forhold til første stikprøve. Hvis denne udvidede stikprøve opfylder kravene, godkendes

emnepartiet. Emner i den først udtagne stikprøve, der ikke opfyldte lagtykkelseskravene, omforzinkes eller udbedres på anden måde efter aftale med kunden. Hvis den udvidede stikprøve ikke opfylder kravet, kasseres varmforzinkningen af emnepartiet.

Tabel 2: Minimumslagtykkelse på emner, der ikke er centrifugeret.

Emner med godstykkelse t	Lokal lagtykkelse min. (μm)	Middel lagtykkelse min. (μm)
Stål, $6 \text{ mm} \leq t^1$	70	85
Stål, $3 \text{ mm} \leq t < 6 \text{ mm}$	55	70
Stål, $1,5 \text{ mm} \leq t < 3 \text{ mm}$	45	55
Stål, $t < 1,5 \text{ mm}$	35	45
Støbegods, $6 \text{ mm} \leq t$	70	80
Støbegods, $t < 6 \text{ mm}$	60	70

¹⁾ Stål med godstykkelse på 6 mm eller derover.

Tabel 3: Minimumslagtykkelse på emner, der er centrifugeret.

Emner med godstykkelse t eller diameter d	Lokal lagtykkelse min. (μm)	Middel lagtykkelse min. (μm)
Emne med gevind:		
$20 \text{ mm} \leq \text{diam. } d$	45	55
$6 \text{ mm} \leq \text{diam. } d < 20 \text{ mm}$	35	45
$\text{diam. } d < 3 \text{ mm}$	20	25
Andre emner (også støbegods):		
$3 \text{ mm} \leq t$	45	55
$t < 3 \text{ mm}$	35	45

6. Eksempel på praktisk lagtykkelseskontrol

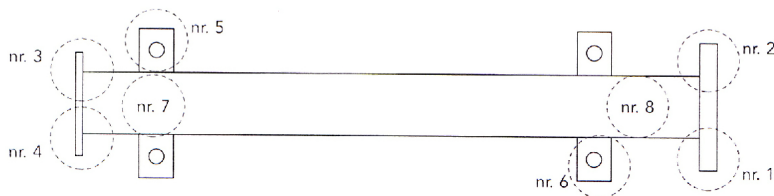
Kontrollen udføres, som angivet i afsnit 4, på 3 søjler, udtaget som stikprøve, fra en leverance på i alt 10 søjler. Søjlerne omfatter 2 forskellige godstykkelses kategorier, som vist på figur 1. Måleresultatet for en af søjlerne er vist i tabel 4. Det ses, at måleværdierne (= lokal zinklagtykkelse) og middellagtykkelse opfylder minimumskravene i tabel 2 for begge godstykkelses kategorier. På figur 1 er det vist, hvor hver enkelt måleværdi er bestemt.

Tabel 4: Måleresultat for RHS-søjle.

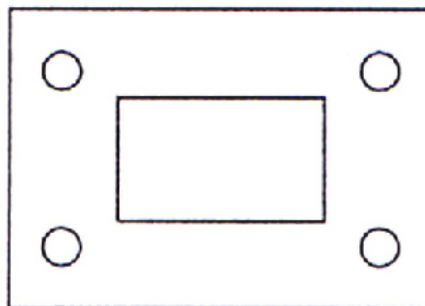
Godstykkelseskategori	Element/profil (måling nr)	Måleværdier ⁽¹⁾ (μm)	Middellagtykkelse
$6 \text{ mm} \leq t$	Fodplade (nr 1, 2)	128, 132	130
$3 \text{ mm} \leq t < 6 \text{ mm}$	Topplade (nr 3,4)	108, 102	76
	Plade (nr 5, 6)	61, 58	
	RHS-profil (nr 7, 8)	58, 71	

(1) Måleværdier = lokal lagtykkelse. Hver måling er bestemt som gennemsnittet af minimum 5 aflæsninger inden for måleområdet.

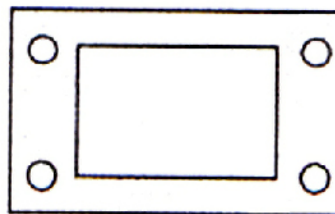
RHS-søjle



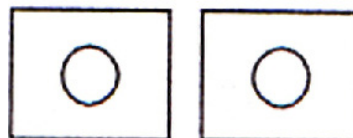
Figur 1. Skitse af RHS-søjle med angivelse af måleområders placering.



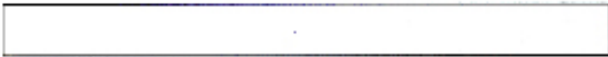
Fodplade 200 x 300 x 20 mm (Måling nr. 1, 2). Pladen har udskæring 100 x 120 mm og $\varnothing 25 \text{ mm}$ huller og opdeles i 2 måleområder (f.eks højre halvdel og venstre halvdel). Målingerne udføres min. 10 mm fra kanterne med 3 aflæsninger på overside og 3 aflæsninger på underside.



Topplade 180 x 240 x 5 mm (Måling nr. 3, 4). Pladen har udskæring 100 x 120 mm og $\varnothing 15 \text{ mm}$ huller og opdeles i 2 måleområder ligesom fodpladen. De 2 måleværdier bestemmes som gennemsnittet af 6 aflæsninger, 3 på oversiden og 3 på undersiden.



Pladestykker 80 x 80 x 4 mm (Måling nr. 5, 6). Pladestykkerne har $\varnothing 15 \text{ mm}$ huller. Der bestemmes én måleværdi pr. pladestykke, som gennemsnittet af 6 aflæsninger, dvs. 3 aflæsninger på hver side af pladestykket. Aflæsningerne foretages mindst 10 mm fra kanterne.



RHS-rør 100 x 120 x 4 mm, længde 2100 mm (Måling nr. 7, 8) Der foretages bestemmelse af 2 måleværdier, og måleområderne vælges som 2 rundgående, 4 cm høje bånd, der starter 100 mm fra firkantrørets ender. Hver måleværdi bestemmes som gennemsnittet af 8 aflæsninger, 2 på hver flade. Aflæsningerne placeres mindst 10 mm fra kanterne.

7. Kontrol af lokale zinklagtykkelser

Hvis varmforzinker og køber er enige herom, kan kontrolarbejdet reduceres, ved kun at foretage kontrol af, om minimumkravene til lokal zinklagtykkelse er overholdt. Proceduren ændrer ikke lagtykkelseskravene, men giver, med en mindre arbejdsindsats, en større sikkerhed for, at krav til minimum lokal zinklagtykkelse er overholdt. Det er den lokale zinklagtykkelse, der har langt den største betydning for korrosionsbeskyttelsens holdbarhed.

Proceduren er beskrevet nedenstående:

1. De varmforzinkede emner til stikprøvekontrol udtages ifølge tabel 1.

2. Den del af det varmforzinkede emne, der har haft kortest dyppetid i zinksmelten, og som har laveste zinklagtykkelse, identificeres enten visuelt eller ved udførelse af enkelte orienterende lagtykkelsesmålinger i begge ender af emnet. De orienterende målinger udføres ved enderne på emnets hovedelement, dvs. det profil eller den plade i emnet, der er længst. De orienterende målinger registreres ikke. Bemærk, at meget lange emner kan være varmforzinkede ved dobbeltdypning, så overfladerne, der har haft kortest dyppetid og har laveste zinklagtykkelse, findes omkring dobbeltdypzonen.

3. Måling af den **lokale zinklagtykkelse** foretages på alle indgående profiltyper og dimensioner mod den ende af emnet, der har laveste lagtykkelse. Målingerne udføres, så de i størst muligt omfang omfatter hele elementets tværsnit.

4. De herved bestemte **lokale zinklagtykkelser** registreres for det enkelte element/profil sammen med godstykkelsen, og målepositionerne angives eventuelt på en tegning eller en skitse af emnet.

5. Måleområderne placeres, så de opfylder de i DS/EN ISO 1461:2022 angivne krav:

- Måling foretages min. 100 mm fra emneender og min. 10 mm fra kanter.

- Måling foretages ikke på flamme-, laser- eller plasmaskårne kanter.

6. Det kontrolleres, om alle måleværdier overholder minimumskravet til lokal zinklagtykkelse i tabel 2. Godkendelse og kassation af varmforzinkningen i øvrigt, foretages som angivet i afsnit 5.

Yderligere information ved henvendelse til:

nordic
GALVANIZERS 

**Tlf: +46 (0)8 446 67 60,
info@nordicgalvanizers.com,
www.nordicgalvanizers.com**