



YTSKYDDSS
MYNDIGHETEN

RAPPORT 2026:6

Metod för bestämning av ytjämnhet

Parametrar, filtrering
och provning

Metod för bestämning av ytjämnhet. Parametrar, filtrering och provning

Rapport 2026:6

Diarienummer: YSM 2026/0839

Utgivare: Ytskyddsmyndigheten, Box 112, 842 21 Sveg

registrator@ytskyddsmyndigheten.se, ytskyddsmyndigheten.se

Rapport 2026:6. Metod för bestämning av ytjämnhet

Utgiven av Ytskyddsmyndigheten, 2026

Publikationen kan laddas ner från ytskyddsmyndigheten.se. Tryckta exemplar kan beställas från registrator i mån av tillgång.
Citera gärna, men ange källan.

Innehåll

Sammanfattning	4
1 Inledning	5
2 Parametrar	6
3 Filtrering	7
4 Mätsträcka och utvärderingslängd	9
5 Mätosäkerhet för R_a	10
6 Provning med referensprov	11
7 Stylus och optisk mätning	12
8 Exempel	14
9 Begränsningar	15
10 Slutsatser	16
Referenser	17

Sammanfattning

Rapporten beskriver hur ytjämnhet bestäms med parametrarna Ra, Rq och Rz. Metoden omfattar filtrering av ytprofilen med ett Gaussiskt filter, val av mätsträcka och utvärderingslängd, en mätosäkerhetsbudget för Ra och en provning med fyra referensprov. Rapporten jämför också ett stylusinstrument med ett optiskt instrument och visar hur datapunktavståndet påverkar resultatet.

Mätosäkerheten för Ra vid referensprov B, nominellt $1,60\text{ }\mu\text{m}$, är $U = 0,14\text{ }\mu\text{m}$ med täckningsfaktor 2. Filtrets val av cut-off är det största bidraget i budgeten. Alla fyra referensprov uppfyller acceptanskraven. I det syntetiska exemplet ger ett datapunktavstånd på $0,5\text{ }\mu\text{m}$ ett Rz som är 6,7 procent lägre än referensen. Stylusspetsen med radie $2\text{ }\mu\text{m}$ ger ett Rz som är 18,9 procent lägre än referensen.

1 Inledning

Ytjämnhet är en egenskap hos ytan som beskrivs med parametrar som härleds ur en ytprofil. Parametrarna används vid provning av ytor, i de uppgifter om ytjämnhet som ingår i tillsynen och vid upphandling av mätinstrument. Myndigheten ska kunna visa vilken metod och vilken mätosäkerhet som gäller för ett givet värde.

Rapporten är en metodbeskrivning. Den beskriver beräkningen av R_a , R_q och R_z , filtreringen av ytprofilen, mätsträcka och utvärderingslängd, mätosäkerheten för R_a och provningen av ytjämnhetsmätare med fyra referensprov. Metoden tillämpas på de ytjämnhetsmätare som upphandlas under diarienummer YSM 2026/0743.

Beräkningarna följer profilmetoden i ISO 4287. Metoder för areella parametrar enligt ISO 25178 ingår inte i rapporten. Exempelen bygger på en syntetisk ytprofil och en förenklad modell av stylusspetsen. Siffrorna är därför inte mätresultat från något instrument.

2 Parametrar

Ytprofilen $z(x)$ är de höjdvärden som mätinstrumentet registrerar längs en mätlinje över ytan.

Ytråhetsprofilen $z_R(x)$ är den del av ytprofilen som återstår när vågighetsprofilen har subtraherats enligt avsnitt 3. Parametrarna beräknas enbart ur ytråhetsprofilen över utvärderingslängden l_n , med N datapunkter.

R_a är medelvärdet av absolutbeloppet av ytråhetsprofilen, enligt ekvation (3). R_q är kvadratroten ur medelkvadraten, enligt ekvation (4). R_z är medelvärdet av det största avståndet mellan topp och dal i fem sammanhängande mätsträckor, enligt ekvation (5). För samma profil är R_q alltid större än eller lika med R_a , vilket följer av definitionerna.

$$R_a = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} |z_R(x)| dx \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |z_{R,i}| \quad (3)$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{R,i}^2} \quad (4)$$

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 (\max_i z_{R,i} - \min_i z_{R,i})_j \quad (5)$$

3 Filtrering

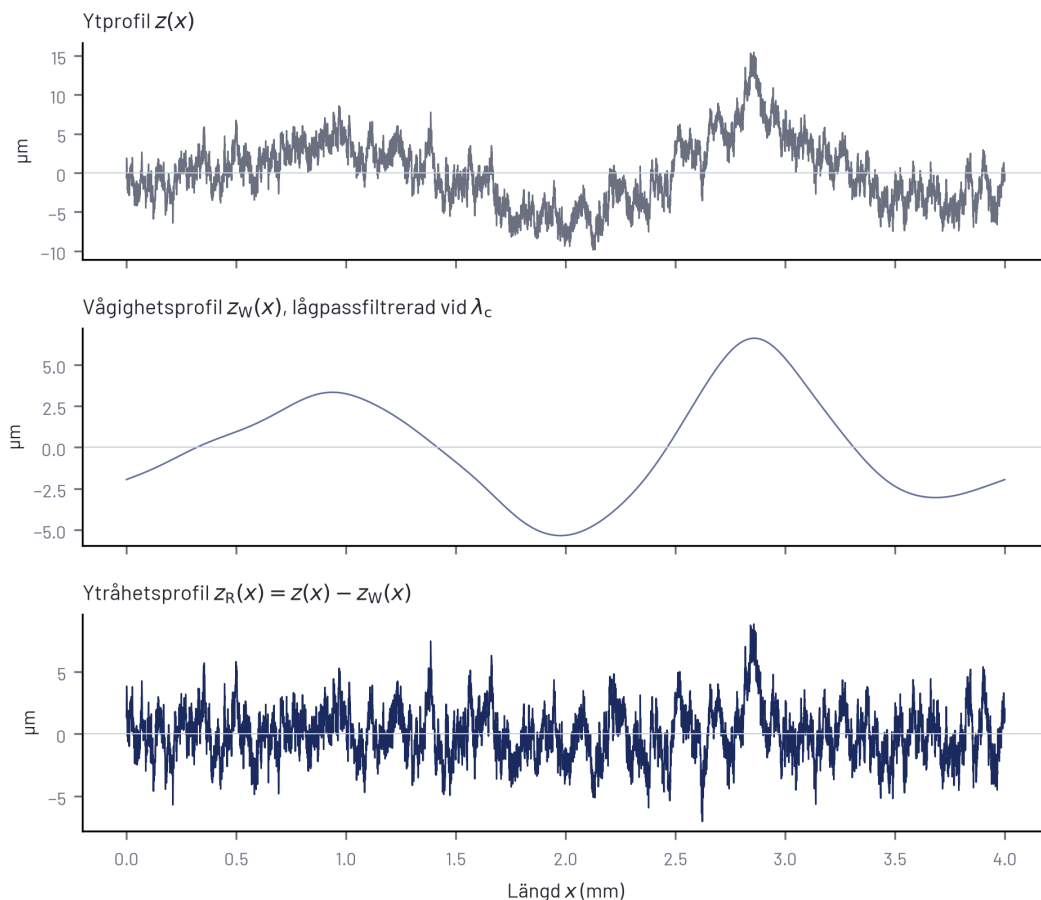
En ytprofil innehåller både långvågiga och kortvågiga variationer. De långvågiga variationerna hör till vågigheten, och de kortvågiga hör till ytråheten. Gränsen mellan dem bestäms av cut-off, som är en gränsvåglängd. Filtreringen görs med ett Gaussiskt låpassfilter. Filtrets överföring framgår av ekvation (1). Vid den våglängd som motsvarar cut-off är överföringen 50 procent, och det är definitionen av cut-off.

$$H(f) = \exp(-\pi(\alpha\lambda_c f)^2), \quad \alpha = \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \quad (1)$$

Vågighetsprofilen z_W är filtrets utsignal. Ytråhetsprofilen fås genom subtraktion enligt ekvation (2). Figur 1 visar en schematisk ytprofil med vågighetsprofil och ytråhetsprofil för det syntetiska exemplet med cut-off 0,8 mm.

$$z_R(x) = z(x) - z_W(x) \quad (2)$$

Figur 1. Ytprofil, vågighetsprofil och ytråhetsprofil efter filtrering vid cut-off 0,8 mm. Syntetiskt exempel, längd 4,0 mm.



Källa: egen beräkning, syntetisk ytprofil.

Valet av cut-off påverkar vilka variationer som räknas som ytråhet. Ett kortare cut-off gör att fler variationer räknas som vågighet, och ytråhetsprofilen blir då mindre. För det syntetiska exemplet är R_a 1,38 μm vid cut-off 0,25 mm, mot 1,60 μm vid 0,8 mm. Det motsvarar en skillnad på 13,9 procent lägre vid det kortare cut-off.

4 Mätsträcka och utvärderingslängd

Mätsträckan l_r är lika med cut-off. Utvärderingslängden l_n är fem mätsträckor. R_a och R_q beräknas över hela utvärderingslängden. R_z beräknas för varje mätsträcka och medelvärdesbildas över de fem mätsträckorna. Två exempel på längder ges här.

- Cut-off 0,8 mm, mätsträcka 0,8 mm och utvärderingslängd 4,0 mm. Detta är nominellt val för referensprov A till D.
- Cut-off 0,25 mm, mätsträcka 0,25 mm och utvärderingslängd 1,25 mm. Används för att visa filtrets inverkan.

Antalet datapunkter ges av ekvation (13). Vid referensens datapunktavstånd, 0,05 μm , blir antalet 80 000 punkter över utvärderingslängden 4,0 mm. Vid instrumentens datapunktavstånd, 0,5 μm , blir antalet 8 000 punkter.

$$N = \frac{l_n}{\Delta x} \quad (13)$$

5 Mätosäkerhet för Ra

Mätosäkerheten för Ra redovisas som kombinerad standardosäkerhet enligt ekvation (9). Den är kvadratroten ur summan av kvadraterna på de delbidrag som ingår. Bidragen är repeterbarhet, referensprovets osäkerhet och filtrets inverkan. Den utvidgade osäkerheten U är två gånger den kombinerade standardosäkerheten, vilket motsvarar täckningsfaktor 2.

$$u_c = \sqrt{u_{\text{rep}}^2 + u_{\text{ref}}^2 + u_{\text{filt}}^2} \quad (9)$$

Repeterbarheten bestäms som standardavvikelsen s av tio mätningar på samma referensprov, dividerad med kvadratroten ur antalet mätningar, enligt ekvation (7). Osäkerheten i referensprovet är halva den utvidgade toleransen, eftersom toleransen för ett referensprov anges med täckningsfaktor 2. Filtrets inverkan är halvbredden på den rektangulära fördelningen, dividerad med kvadratroten ur tre, enligt ekvation (8). Halvbredden är hälften av skillnaden i Ra mellan cut-off 0,25 mm och 0,8 mm.

$$u_{\text{rep}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

$$u_{\text{filt}} = \frac{|R_a(\lambda_c = 0,25 \text{ mm}) - R_a(\lambda_c = 0,8 \text{ mm})|}{2\sqrt{3}} \quad (8)$$

Tabell 1 visar budgeten för referensprov B, med nominellt Ra 1,60 µm. Värdena beräknas ur provningen i avsnitt 6 och ur ytprofilen i avsnitt 3.

Tabell 1. Mätosäkerhetsbudget för Ra vid referensprov B, nominellt 1,60 µm

Bidrag	Symbol	Standardosäkerhet (µm)
Repeterbarhet, standardavvikelse av tio mätningar dividerad med kvadratroten ur tio	u_{rep}	0,002
Referensprovets osäkerhet, halva den utvidgade toleransen	u_{ref}	0,025
Filtrets inverkan, cut-off 0,25 mm jämfört med 0,8 mm	u_{filt}	0,064
Kombinerad standardosäkerhet	u_c	0,069
Utvidgad osäkerhet, täckningsfaktor 2	U	0,137

Källa: egen beräkning ur provningen i avsnitt 6 och ytprofilen i avsnitt 3.

6 Provning med referensprov

Provningen omfattar fyra referensprov. Prov A har Ra 0,40 µm med tolerans ±0,02 µm. Prov B har Ra 1,60 µm med tolerans ±0,05 µm. Prov C har Rz 6,3 µm med tolerans ±0,2 µm. Prov D är en höjdnormal på 10,0 µm med tolerans ±0,05 µm och används för kontroll av den vertikala skalan. Varje prov mäts tio gånger, och ett prov godkänns enligt ekvation (10) om två villkor är uppfyllda.

$$|\bar{y} - x_{\text{ref}}| \leq T, \qquad s/\bar{y} \leq 0,01 \qquad (10)$$

Det första villkoret innebär att medelvärdet inte får avvika från det nominella värdet mer än toleransen. Det andra villkoret innebär att standardavvikelsen högst får vara en procent av medelvärdet. Resultaten redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Provning av referensprov, tio mätningar per prov

Referensprov	Nominellt värde (µm)	Medelvärde (µm)	Avvikelse (µm)	Tolerans ± (µm)	Relativ spridning (%)	Resultat
A, Ra	0,400	0,404	+0,004	0,020	0,51	Godkänt
B, Ra	1,600	1,587	−0,013	0,050	0,42	Godkänt
C, Rz	6,300	6,391	+0,091	0,200	0,41	Godkänt
D, höjdnormal	10,000	10,039	+0,039	0,050	0,38	Godkänt

Källa: egen beräkning ur syntetiska mätvärden för provningsexemplet.

Alla fyra referensprov uppfyller båda villkoren. Den största relativa spridningen är 0,51 procent.

7 Stylus och optisk mätning

Ett stylusinstrument mäter genom att en spets med radie 2 µm följer ytan med en kraft på 0,75 mN. Det optiska instrumentet mäter utan kontakt. Vertikal upplösning är 0,8 nm för stylusen och 0,1 nm för det optiska instrumentet. Vertikalt mätområde är 320 µm respektive 200 µm enligt upphandlingen. Båda instrumenten redovisar profilen med ett datapunktavstånd på 0,5 µm. Skillnaderna i resultat mellan instrumenten beror därför främst på spetsens geometri och på samplingen, och inte på upplösningen i höjdlängd.

En spets med ändlig radie kan inte följa smala dalar. Ekvation (6) beskriver utsignalen från en parabolisk spets. Dalar blir grundare när spetsen inte når till botten, medan topparna återges i stort sett oförändrade. Modellen är en förenkling, och den används här för att visa storleksordningen av effekten.

$$z_m(x) = \max_u \left[z(u) - \frac{(x - u)^2}{2r} \right] \quad (6)$$

Tabell 3 visar resultatet för det syntetiska exemplet. Referensen är ytprofilen vid datapunktavståndet 0,05 µm utan spets. Stylusinstrumentet ger ett Ra som är 5,9 procent lägre och ett Rz som är 18,9 procent lägre än referensen. Det optiska instrumentet ger ett Rz som är 6,7 procent lägre än referensen. Det visar effekten av datapunktavståndet, eftersom det optiska instrumentet saknar spets i modellen.

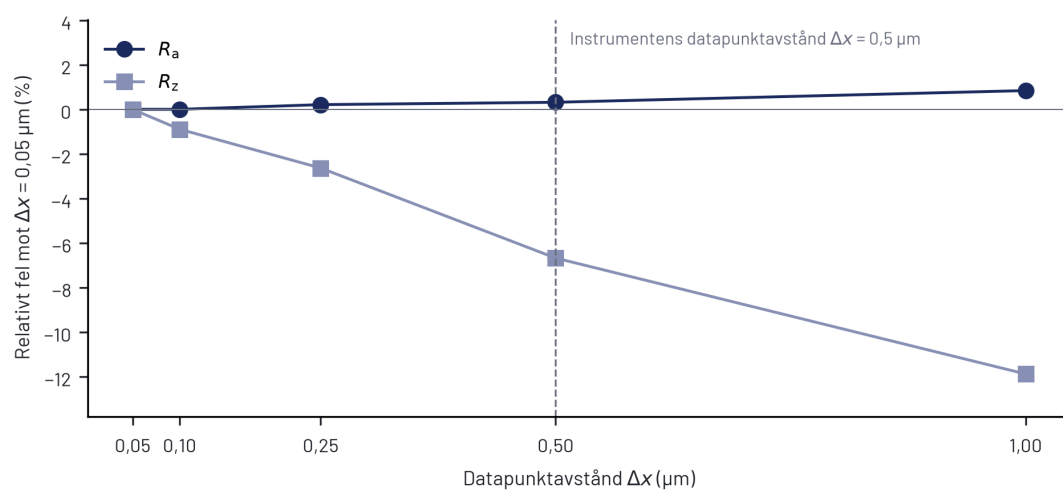
Tabell 3. Ra, Rq och Rz för det syntetiska exemplet, cut-off 0,8 mm

Parameter	Referens, 0,05 µm, utan spets	Optiskt instrument, 0,5 µm	Stylus, 0,5 µm, spets 2 µm	Stylus minus referens (µm)
Ra (µm)	1,60	1,61	1,51	-0,09
Rq (µm)	2,04	2,04	1,93	-0,11
Rz (µm)	13,38	12,49	10,85	-2,53

Källa: egen beräkning, syntetisk ytprofil. Modellen för spetsen är en förenkling.

Figur 2 visar hur det relativa felet i Ra och Rz förändras med datapunktavståndet. Felet beräknas mot referensen vid 0,05 µm för samma ytprofil. Rz är känsligare för datapunktavståndet än Ra, eftersom Rz bygger på det högsta toppvärdet och det djupaste dalvärdet i varje mätsträcka. Ra är ett medelvärde över alla punkter och påverkas mindre.

Figur 2. Relativt fel i R_a och R_z som funktion av datapunktavståndet, mot $0,05\ \mu\text{m}$. Syntetisk ytprofil, cut-off $0,8\ \text{mm}$.



Källa: egen beräkning, syntetisk ytprofil.

8 Exempel

Ett exempel visar beräkningen för referensprov B. Medelvärde av de tio mätningarna är 1,59 µm, och standardavvikelsen är 0,0067 µm. Repeterbarheten blir 0,0021 µm enligt ekvation (7).

Referensprovets bidrag är 0,025 µm och filtrets bidrag är 0,064 µm. Den kombinerade standardosäkerheten beräknas enligt ekvation (11), och resultatet redovisas enligt ekvation (12).

$$u_c = \sqrt{(0,0021)^2 + (0,025)^2 + (0,064)^2} = 0,069 \text{ } \mu\text{m} \quad (11)$$

$$R_a = 1,59 \pm 0,14 \text{ } \mu\text{m}, \quad k = 2 \quad (12)$$

Resultatet anges med medelvärdet och den utvidgade osäkerheten, avrundade till två decimaler. Samma princip gäller för ett enskilt värde som mäts med metoden.

9 Begränsningar

- Exemplet bygger på en syntetisk ytprofil. Spektrumet är en antagen modell med amplitud proportionell mot f upphöjt till minus 0,75. Värdena visar hur metoden fungerar och vilka storleksordningar som kan uppstå, men de är inte resultat av någon mätning.
- Repeterbarheten har modellerats som 0,4 procent av nominellt värde. De systematiska avvikelserna i provningen är antagna. Verkliga instrument ska provas med egna mätdata.
- Stylusspetsen modelleras som en parabolisk spets med radie $2\text{ }\mu\text{m}$. Modellen gäller för måttliga lutningar och beskriver inte alla effekter vid mycket branta spår.
- Rapporten omfattar profilmetoden och parametrarna R_a , R_q och R_z . Areella parametrar och övriga parametrar omfattas inte.

10 Slutsatser

- R_a , R_q och R_z beräknas enligt ekvation (3), (4) och (5) ur ytråhetsprofilen efter Gaussisk filtrering med angiven cut-off.
- Mätosäkerheten för R_a vid $1,60\text{ }\mu\text{m}$ är $0,14\text{ }\mu\text{m}$, med täckningsfaktor 2. Filtrets val av cut-off dominerar budgeten, och cut-off ska därför anges tillsammans med varje värde.
- Med datapunktavståndet $0,5\text{ }\mu\text{m}$ blir R_z för det syntetiska exemplet 6,7 procent lägre än referensen vid $0,05\text{ }\mu\text{m}$. R_a påverkas mindre.
- Alla fyra referensprov uppfyller båda villkoren. Den största relativa spridningen är 0,51 procent.
- Metoden tillämpas vid provning av de ytjämnhetsmätare som upphandlas under YSM 2026/0743.

Referenser

ISO 4287. Geometriska produktspecifikationer, ytstruktur, profilmätod. Termer, definitioner och parametrar.

ISO 25178. Geometriska produktspecifikationer, ytstruktur, areell. Parametrar och metoder.

Ekström, H. (2019). Filtrering av ytprofiler vid bestämning av ytjämnhet. Ytteknisk rapport, nr 22.

Lindqvist, G. (2016). Mätosäkerhet i ytmätning. Ytteknisk rapport, nr 14.

Ytskyddsmyndigheten (2026). Upphandling av ytjämnhetsmätare, YSM 2026/0743.

Ytskyddsmyndigheten (2026). Mätosäkerhet vid glansmätning. Rapport 2026:3.