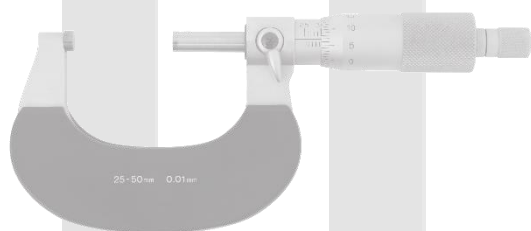


RUHED

UNDERVISNINGSELEMENT

G2

—
**UNDERVISNING
I MÅLETEKNIK**

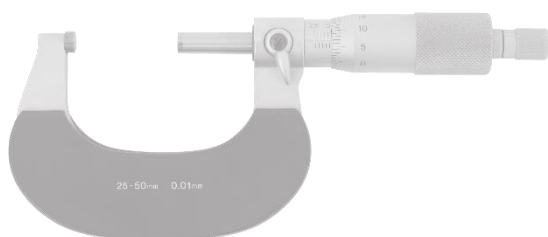


metrologi.dk

RUHED

Mikkel S. Nielsen & Sabrina R. Johannsen, DFM A/S

1. udgave – Oktober 2017



Copyright © 2017 metrologi.dk – Materialet må ikke anvendes til kommercielt brug, uden tilladelse fra metrologi.dk.

Metrologi.dk er finansieret af Styrelsen for Forskning og Innovation i perioden 2016 – 2018. Materiale er udarbejdet i et samarbejde mellem GTS-institutterne DFM A/S, FORCE Technology og DELTA - a part of FORCE Technology.

Læs mere om projektet på www.metrologi.dk.

Parterne i Metrologi.dk kan ikke gøres ansvarlig for fejl og mangler i indholdet af undervisnings materialet eller i indholdet på websitet, samt indholdet i de eksterne dokumenter og websites, der linkes til, medmindre andet følger af dansk rets almindelige regler.

Grafisk design af: Henriette Schäfer Høyrup og David Balslev-Harder.

Indholdsfortegnelse

1 Indledning	1
2 Overfladers geometri	1
Boks 1: Topografi	2
2.1 Hvorfor overflader?	2
Boks 2: Ruhed i togbranchen.....	4
Lav ruhed forhindrer bakterier i medicinal- og fødevarerbranchen	4
3 Hvordan beskriver man overfladeruhed?	5
3.1 Sanseindtryk af ruhed.....	5
Boks 3: Test dig selv I – Følesans og ruheder	6
Hvordan føles en overflade – med fingerspids og negl	6
Hvilken overflade har størst ruhed?.....	6
3.2 Profiler	7
3.2.1 Ruhedsparametre fra profil.....	8
Boks 4: Profiler og parametre	9
3.2.2 Hvilke parametre skal man bruge?.....	10
3.2.3 Parametre for bølgethed.....	10
Boks 5: Test dig selv II – Ruhedsparametre	12
Hvilken ruhedsparameter skal bruges?.....	12
3.3 Arealer	13
Boks 6: Arealer og parametre	14
4 Filtrering – adskille form, bølgethed og ruhed	15
4.1 Filtrering af profiler.....	16
4.2 Filterstørrelsens indflydelse.....	17
Boks 7: 16%-reglen	18
4.3 Filtrering af arealer.....	18
5 Geometriske produktspecifikationer (GPS).....	18
5.1 Angivelse af specifikationer for profil ruhed	19
6 Opsummering.....	21
7 Ordliste	22
8 Svar på test-dig-selv	23
8.1 Test-dig-selv I.....	23
8.2 Test-dig-selv II.....	23
9 Læringsudbytte	24
10 Litteraturliste	25

1 Indledning

Et emnes funktion afhænger dels af emnets geometri såsom form og dimensioner, men også af emnets overfladegeometri. Overfladegeometrien kan også betegnes som emnets *mikrogeometri*.

Overfladers geometri og ikke mindst overfladers ruhed vil være hovedfokus i det følgende. Grunden til at tage ruhed op som et separat emne er, at det i de senere år har fået en større og større betydning inden for en lang række industrier og brancher. Ruhed er en vigtig parameter i sammenhænge, hvor kontakten mellem to overflader spiller ind. Dette spænder fra transport af mælk i rør på mejerier, over malings evne til at hæfte ved en overflade, til friktion i kuglelejer.

En stor del af fremstillingsomkostningerne går til færdiggørelse af den rette overfladegeometri for at opnå den ønskede funktion.

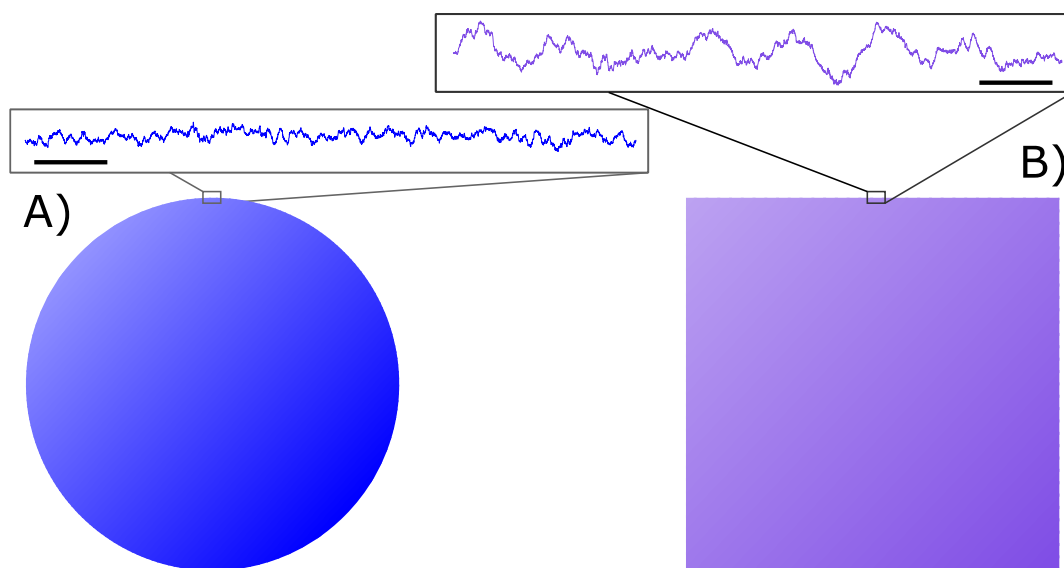
Dette kompendium er opbygget som følger: I afsnit 2 gives en overordnet beskrivelse af, hvad overfladeruhed er, hvilket underbygges med eksempler i afsnit 2.1. Dernæst gennemgås i afsnit 3 måder at beskrive

og vurdere overfladeruhed på. Dette gøres både kvalitativt i afsnit 3.1 og kvantitativt i afsnit 3.2 og 3.3. I afsnit 4 introduceres en måde at få adskilt ruheden fra overfladegeometrien. Slutteligt vil nogle af de geometriske produktspecifikationer (GPS) som benyttes indenfor ruhed kort blive introduceret. Undervejs vil der være nogle små opgaver for læseren til at teste sig selv. Vejledende besvarelser er givet i afsnit 8.

2 Overfladers geometri

Overfladen er, hvad adskiller en genstand fra omgivelserne og samtidig definerer genstandens *form*. Formen er uafhængig af, hvad genstanden består af. Selvom indholdet af såvel en fodbold som en (tom) flyttekasse mest af alt er luft, så opfattes den første som rund og den sidste som kasseformet.

Mens formen giver overfladens geometri på *makroskala*, knytter ruhed sig til geometrien på *mikroskala*. Til daglig ser vi med øjet kun den overordnede form på den store skala og ikke overfladeruheden på den lille skala. Til gengæld vil det ses, hvis der zoomes nok ind, at ingen overflader er helt glatte. Små ujævnheder på mikroskala er med til at give højdevariationer på overfladen, og størrelsen af disse beskrives med



Figur 1: Overfladers form og ruhed på hhv. makro og mikroskala. Nederst ses et tværsnit gennem to emner med cirkulær form A) og kvadratisk form B). Bredden af emnerne er 120 mm. Øverst i de to kasser vises et zoom ind på et udsnit på 5 mm, hvor overfladeruheden ses. Skalabaren svarer til 1 mm.

ruheden. (I stedet for højdevariationer bruges også udtrykket overfladens *topografi* – se boks 1.)

Forskellen på form og *ruhed* er illustreret på Figur 1, hvor et tværsnit gennem to genstande er vist på makroskala (nederst) og på mikroskala (øverst) med et zoom ind på overfladen. Den runde form A) og firkantede form B) fremgår tydeligt på stor skala. Til gengæld ses det først ved et zoom ind på lille skala, at overfladerne ikke er helt glatte, men indeholder små ujævnheder. Omvendt ved at zoome så langt ind ses den overordnede form af A) og B) ikke længere.

Betragtes zoomet på A) og B) nærmere, ses også en forskel i geometrien på mikroskala. Hvor overfladen for A) virker som tilfældige ujævnheder på en flad linje, ligger ujævnhederne for B) oven på nogle mere bløde og bølgede udsving. Disse blødere højdevariationer kaldes for *bølgethed*, mens de tilfældige ujævnheder er hvad tilskrives ruheden.

Bemærk, at skillelinjen mellem form, bølgethed og ruhed er relativ og afhænger af det konkrete tilfælde. Hvad der kunne blive kategoriseret som ruhed på en 60 m lang vindmøllevinge, ville høre med til form på en 6 mm optisk linse til et smartphone kamera. Hvordan skillelinjen mellem form, bølgethed og ruhed håndteres vil blive behandlet nærmere i afsnit 4.

2.1 Hvorfor overflader?

En vigtig grund til at interessere sig for overflader og deres geometri er, at mange egenskaber ved en genstand bestemmes af overfladen på mikroskala. Om en genstand opfattes som blank eller mat afhænger af, hvordan lyset reflekteres fra overfladen. På samme måde er det overfladen, der afgør, om en genstand føles glat eller ru ved berøring.

En del egenskaber ved en genstand påvirkes af overfladens geometri og ruhed såsom

- Friktionen mellem bevægelige dele i et kugleleje eller hjulaksel, se boks 2.
- Luftmodstanden for en bil eller fly.

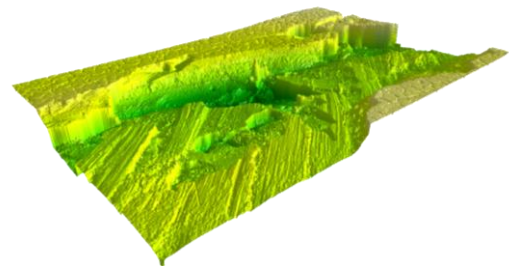
Boks 1: Topografi

Topografi er et begreb, som bruges inden for flere felter. I kortmåling anvendes "topografi" til at beskrive et landskabs højdevariationer fra bakker og dale.



Figur 2: Bakket landskab i det nordlige Irak.

På tilsvarende måde benyttes "topografi" inden for overflader til at beskrive højdevariationer på en overflade, som stammer fra toppe og fordybninger/dale. Disse højdevariationer foregår dog typisk på en hel anden og meget mindre skala end ved landskabskort.



Figur 3: En 3D visualisering af en fordybning fra erosion på en vindmøllevinge. Billedets bredde svarer til 30 mm.

- Hvor godt en overfladebehandling såsom maling hæfter ved overfladen.
- Modstandsdygtigheden mod korrosion, f.eks. hvor let en genstand rustner [1].
- Hvor let bakterier kan hæfte sig ved og gro på en overflade, se boks 2.
- Hvor nem overfladen er at rengøre.
- Smøringsforhold, slidstyrke og støjniveau.

Vil en producent således optimere sine produkter til en bestemt funktion eller udseende, kræver det kendskab til overfladens form og ruhed. Andre faktorer så-

som valg af materiale spiller også ind, men uanset materiale har overfladens beskaffenhed på mikroskala en stor betydning.

Et eksempel på dette er væskeflow igennem et rør, som afhænger af både form og ruhed. Diameteren af røret er fastlagt ud fra et ønske om volumen og hastigheden af væske, der skal transporteres. Overfladeruheden er bestemmende for trykfaldet igennem et lige stykke rør. En stor relativ ruhed i forhold til rørdiameteren vil give mere tryktab end et glat rør, idet væsken støder på flere ujævnheder når overfladen er ru end hvis den var glat.

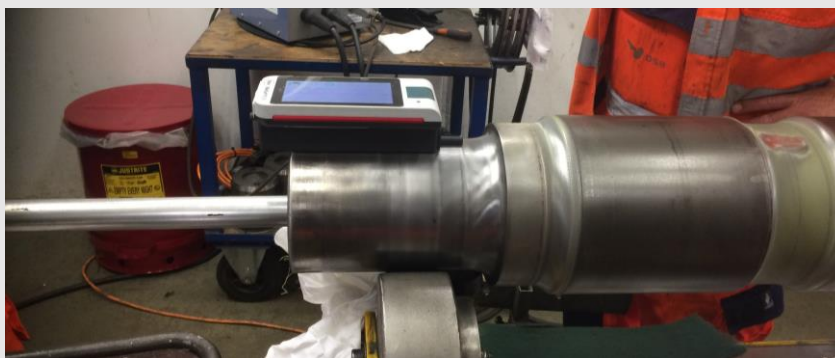
Hvor en konstruktør i designprocessen kan fastlægge formen af emnet og overfladebeskaffenheden, så er det produktionens opgave at kontrollere og verificere det endelige produkts ruhed. Derfor skal ruhed vurderes efter produktet er fremstillet, og til det behøves en måde at beskrive ruhed på.

Boks 2: Ruhed er en kritisk parameter for togsikkerheden

I hjulværkstedet hos DSB Vedligehold er hjulakslerne fra togene løbende inde til kontrol. Hjulakslerne kontrolleres for revnedannelse med ultralyd, dimensionerne opmåles og overfladens beskaffenhed måles med en ruhedsmåler. Disse kontroller er uhyre vigtige for at sikre sikkerheden i togdriften.

På billedet nedenfor måles ruheden af "sølen" til en inderring til et akselleje. Sølens ruhed kontrolleres inden aksellejets inderring krympes fast på lejesølen. Det er meget vigtigt at de to dele sidder helt fast sammen, da de skal modstå store tryk når toget kører. Ruheden er her altafgørende for om inderring og akselsøle sidder ordentlig sammen. Hvis akselsølen er for glat i forhold til inderringen vil de to dele rulle i forhold til hinanden. Dette vil generere meget stor varme som potentielt set kan resultere i at der går ild i toget. Hvis akselsølen derimod er for ru, vil inderring og akselleje rive sig ind i hinanden og sætte sig fast, hvilket i værste tilfælde kan resultere i at det bliver nødvendigt at kasserer akslen. Ruheden af akselsølen skal derfor have lige den rette værdi for at aksellejet kan presses ordentlig fast på.

For DSB Vedligehold er derfor meget vigtigt at deres ruhedsmålere måler korrekt, da ruheden er en sikkerhedskritisk parameter som der skal være styr på.



Figur 4: Ruheden af en hjulaksel måles med en ruhedsmåler hos DSB Vedligehold A/S. Billedet er taget i Hjulværkstedet hos DSB Vedligehold i Århus.

Lav ruhed forhindrer bakterier i medicinal- og fødevarerbranchen

Når væsker transporteres rundt i rør i fødevarer- eller medicinalproduktion er det vigtigt at kunne undgå vækst af bakterier. Kommer der først bakterier i mælken hos et mejeri eller i produktionen af medicin, må i bedste fald varepartiet skrottes, og i værste fald er det til sundhedsfare for forbrugerne.

Derfor stilles der fra myndighederne krav om, at der i produktionen anvendes overflader, der er lette at rengøre, og som bakterier har svært ved at sætte sig fast på. Da ruheder fra eksempelvis sprækker både besværliggør rengøring og er oplagte steder for bakterier [1], anvender industrien materialer med en meget lav ruhed såsom rør af slebet rustfrit stål.

Målinger af den indvendige ruhed på produktionsudstyr dokumenterer, at der leves op til kravene.

3 Hvordan beskriver man overfladeruhed?

Da ruhed (og bølgethed) som nævnt hører til på mikroskala, kan vi ikke selv direkte se de højdevariationer, der skaber den. Derfor er der brug for nogle måder at vurdere størrelsen af ruhed på. Disse måder kan enten være kvalitative eller kvantitative.

3.1 Sanseindtryk af ruhed

En umiddelbar måde at vurdere overfladers ruhed på er direkte gennem føle- og synssansen. Ved berøring afkoder følesansen, om en overflade virker glat eller ru. Tilsvarende har overfladens ruhed betydning for, om synssansen opfatter overfladen som blank eller mat¹.

Det sidstnævnte er illustreret i Figur 6, som viser en metaloverflade (A) øverst og en polymeroverflade (B) nederst. De to overflader indeholder en række felter af stigende ruhed fra venstre mod højre. Dette passer med, at felterne helt til venstre opfattes blanke, mens de fremstår mere og mere matte mod højre. De mange små ujævnheder på felterne med størst ruhed kaster lyset tilfældigt tilbage i alle retninger, og overfladen virker ensartet (mat) fra alle vinkler. På de mest glatte felter mod venstre reflekteres lyset kun i



Figur 6: Visuel sanseindtryk af ruhed. Metal- (A) og polymeroverfladen (B) har begge stigende ruhed fra venstre til højre, som giver et mere mat udseende. Overfladen B er lavet som en afstøbning af A.

¹ Andre faktorer end ruhed spiller ind på, om en overflade virker mat eller blank. Mange materialer såsom maling får sin methed

bestemte vinkler og overfladen virker mere spejlende (blank). Dette ses for både metal- (A) som polymeroverfladen (B) og gælder altså uanset, at det er forskellige materialer.

Til dagligdags formål er en kombination af syns- og følesans oftest tilstrækkelig til at vurdere overfladeruhed. Som eksempel kan man ved bearbejdning af overflader med sandpapir føle og se sig frem til, når man har opnået et glat nok resultat.



Figur 5: Ruhedskomparator til visuel og følemæssig sammenligning af sandblæste (grit blast) overflader. Ruheden på de fire felter er stigende med uret fra nederste venstre til nederste højre felt. (Billede stillet til rådighed af Clemco Danmark A/S)

Til mere professionel brug er det også muligt at anvende sanseindtryk. En ruhedskomparator eller sammenligningsoverflade som vist i Figur 5 er en standardiseret måde at vurdere overfladeruhed. De fire felter på komparatoren har en stigende ruhed rundt med uret fra nederste venstre til nederste højre felt. Ved at skiftevis at køre en negl over felterne og den inspirerede overflade, kan overfladen indplaceres efter hvilke to felter dens ruhed ligger imellem. Dette kan give en grov karakterisering af ruheden. Visuel sammenligning mellem felter og overflade kan bruges til at støtte vurderingen. Metoden er beskrevet mere detaljeret i ISO standard 8503 [2].

Selvom sanseindtryk kan give en vis føling af, hvor stor ruheden er på en overflade, så er metoderne begrænset til en kvalitativ vurdering. Altså fås der ikke

grundet refleksion af lyset fra de øverste lag lige under overfladen.

talværdier, som kan sammenlignes med andre målinger. For at kunne det, er der brug for en mere objektiv og kvantitativ beskrivelse.

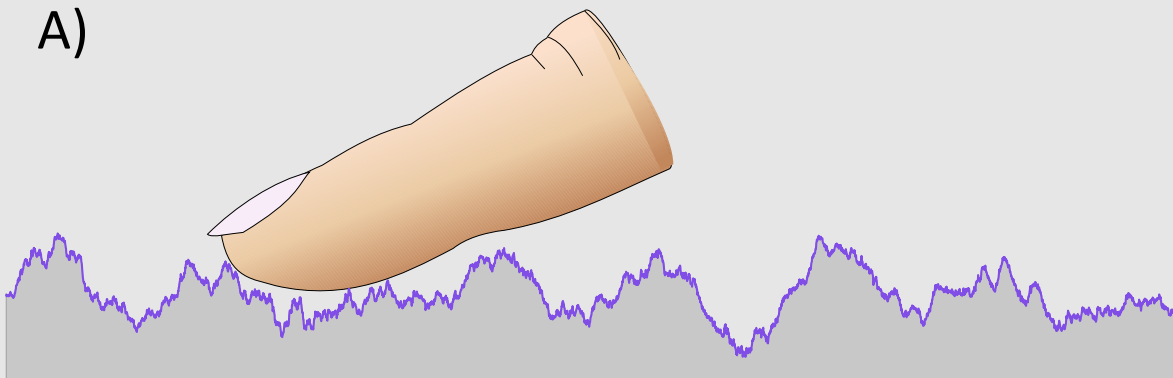
Boks 3: Test dig selv I – Følesans og ruheder

Hvordan føles en overflade – med fingerspids og negl

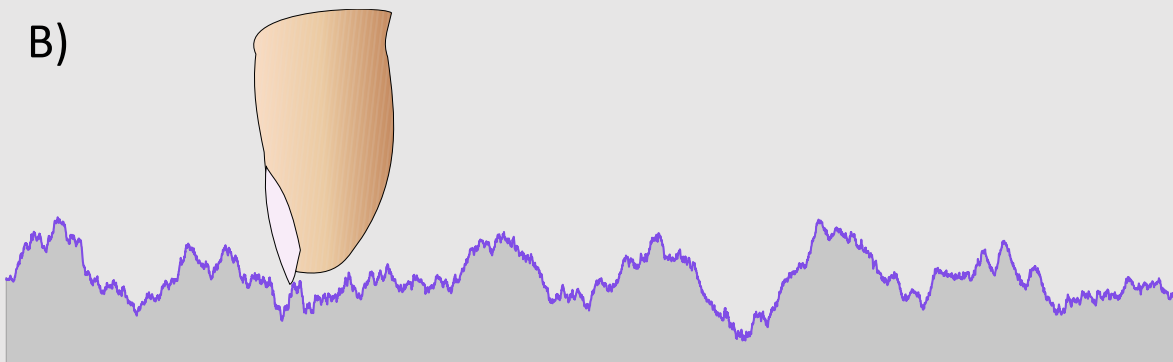
Om en overflade er ru eller glat kan føles ved at køre en finger hen over overfladen. Men føles det ens om det er fingerspidsen eller neglen, der er i kontakt med overfladen?

1. Kør først fingerspids og dernæst negl hen over den samme overflade, som illustreret nedenunder. Prøv f.eks. på en bordplade. Føles det ens eller mærkes der en større højdevariation med den ene?
2. Kan du forklare hvorfor det føles som det gør? Figurerne A) og B) kan bruges som hjælp til forklaring. Tænk over hvor stort et område der er i kontakt med overfladen og hvor langt op og ned der kan mærkes.

A)



B)



Hvilken overflade har størst ruhed?

Hvilken af følgende to overflader har størst ruhed? Eller har de nogenlunde ens ruhed? Prøv først at skrive ned, hvad du tror svaret er. Prøv derefter at føle efter med først fingerspidsen og derefter neglen.

3. Glasrude eller vinduesramme?
4. Papir (A4) eller paperback bogomslag?
5. Skærmen eller bagsiden på en smartphone?

For vejledende besvarelse, se afsnit 8.1 på side 23.

3.2 Profiler

En måde at få en kvantitativ beskrivelse af en overflades ruhed er at anvende nogle beregnede parametre, så ruheden kan udtrykkes som en talværdi. Der findes mange sådanne parametre, men fælles for dem er, at de kan udregnes ud fra en *højdeprofil* af overfladen.

En højdeprofil er en *aftastning* af højdevariationen langs en linje på overfladen. Med det menes, at højdevariationen af overfladen på mikroskala, som det var vist i zoom på Figur 1, måles og lagres som talværdier. Til denne måling skal bruges en ruhedsmåler, hvilket f.eks. kan være et *profilometer*.

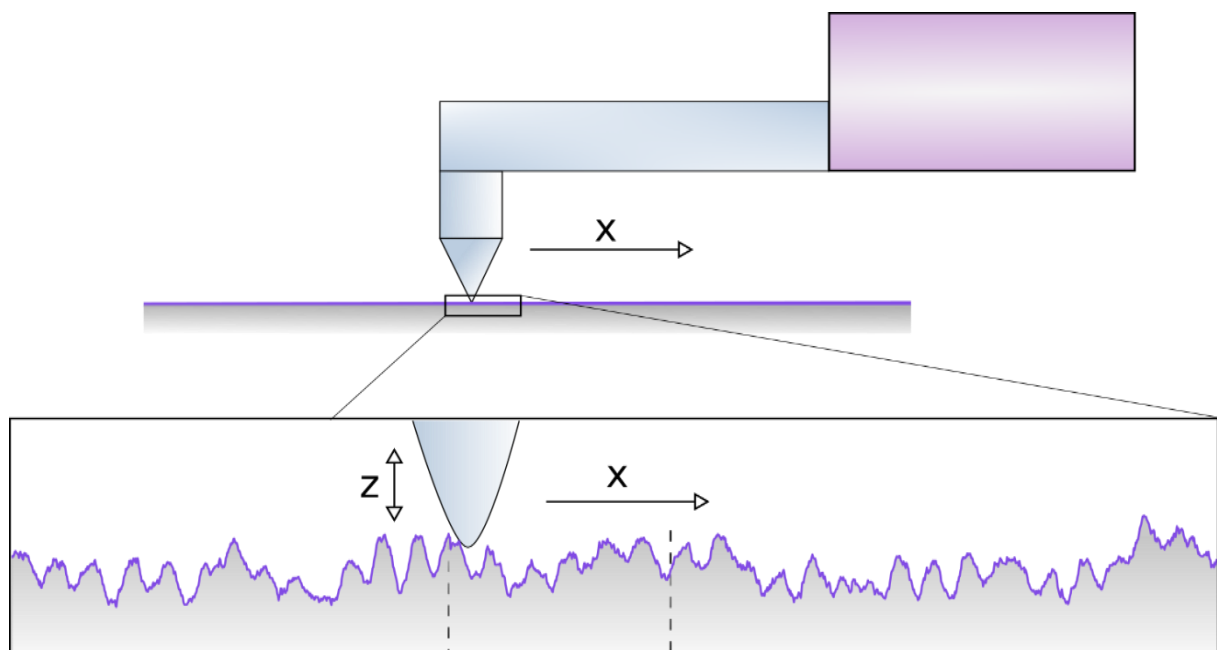
Princippet i en aftastning med et profilometer er vist på Figur 7. Måledelen af profilometeret består af en stang, hvor der for enden sidder en kegleformet diamantspids. Denne kaldes for *tastspidsen*. Når tastspidsen trækkes langsomt hen over overfladen (i *x*-retningen), vil tasten afbøjes opad og nedad (i *z*-retningen) i takt med overfladens højdevariationer, se Figur 7. Tastens bevægelse registreres af ruhedsmåleren og kan efterfølgende analyseres.

Efter aftastningen af overfladen afbildedes tastens bevægelse i højde (*z*) og position (*x*) i et koordinatsystem, som illustreret på Figur 8. Den fremkomne profil på figuren viser, hvordan overfladens højde *z* stiger og falder langs den vandrette position *x* på overfladen.

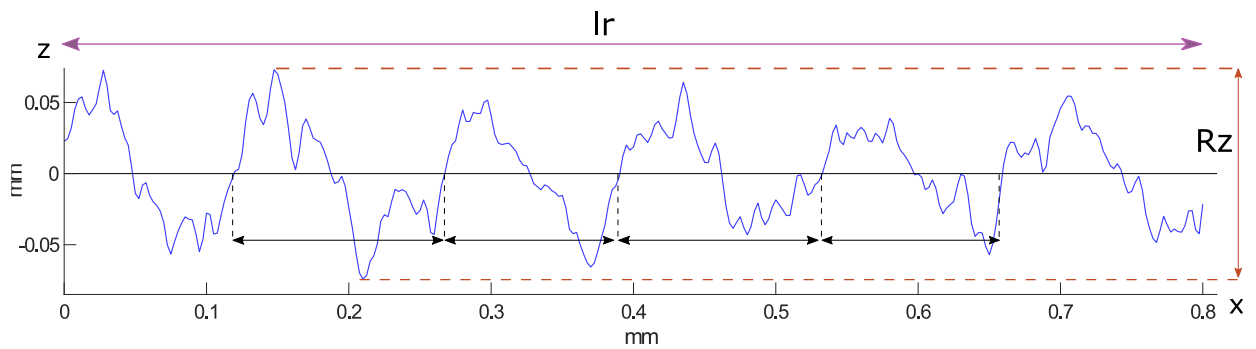
Inden yderligere dataanalyse skal profilen først adskilles i bølgethed og ruhed (se afsnit 4). Kurven på Figur 8 viser ruhedsdelen af højdeprofilen eller *ruhedsprofilen* efter denne proces er udført.

Vandret gennem koordinatsystemet er en linje trukket ved højdeværdien $z = 0$. Denne *middellinje* er den gennemsnitlige højde af profilen og bruges som nulpunkt for højdevariationerne. Lige som med højdevariationer i et landskab omtales de højeste punkter som toppe og de laveste punkter som dale.

Den del af profilen som benyttes i evalueringen af parametre benævnes *l_r* og kaldes for *referencelængde*.



Figur 7: Illustration af en aftastning langs en linje på en overflade ved brug af et profilometer. Når profilometeret bevæges vandret langs overfladen i *x*-retningen, vil tasten af profilometeret hæve og sænke sig i takt med strukturen på overfladen. Tastens bevægelse i *z*-retningen registreres af profilometeret som en højdeprofil. En aftastning af området mellem de stiplede linjer er vist på Figur 8.



Figur 8: Ruhedsprofil fra aftastning langs en linje på overfladen på Figur 7. Højdeforskellen mellem højeste top og laveste dal på profilen giver parameteren R_z (indenfor en referencelængde). Sorte pile markerer afstandene fra begyndelsen af en top til begyndelsen af den næste. Gennemsnittet af disse afstande giver R_{Sm} . En typisk værdi for referencelængden l_r af en profil er på 0,8 mm som på denne figur.

den. De 0,8 mm i Figur 8 er en ofte benyttet referencelængde l_r . Den svarer til knap en femtedel af længden på Figur 1.

Selvom afbildningen af ruhedsprofilen visualiserer overfladen, så er det stadig svært at sammenligne med andre målinger. Derfor er der behov for nogle enkle parametre, som kan beskrive relevante egenskaber ved profilen.

3.2.1 Ruhedsparametre fra profil

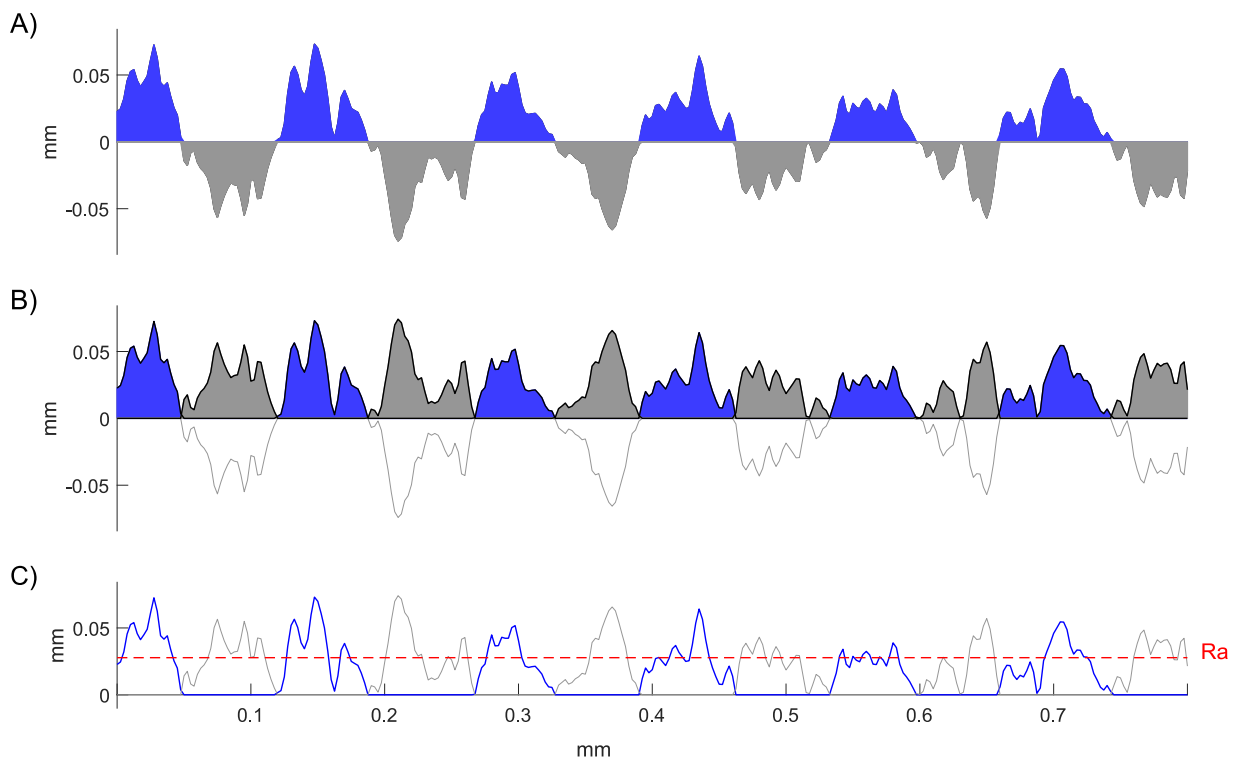
For inspiration kan vi igen tage udgangspunkt i et landskab. Vi står ved starten på en vandretur og skuer ud over et bakket landskab, hvor en vandresti skærer en linje igennem højderne. Inden vi går afsted kunne det være rart med nogle parametre til at vurdere, hvor hård vandreturen langs stien bliver:

- En vigtig faktor her vil være, hvad den højeste bakke på turen er. Der er immervæk forskel på at skulle over en bakke på maksimalt 50 meter eller en på 500 meter i højden.
- En anden parameter kunne være at se på, hvor langt der gennemsnitligt er mellem to bakketoppe. Altså fra den ene top starter til den næste top starter. Det vil sige noget om, hvor mange bakker, man skal op og ned ad. Om der går 100 m eller 1 km imellem hver.
- Endeligt vil vi måske gerne vide noget om, hvor stor belastningen samlet set bliver. Ikke bare

hvad den højeste top på turen er, men hvor meget man generelt skal op og ned. Her vil den gennemsnitlige højdevariation være en god parameter. Altså hvor mange meter man i snit bevæger sig op og ned på turen i forhold til gennemsnitshøjden i landskabet.

Disse tre faktorer for landskabet er hvad ruhedsparametrene R_z , R_{Sm} og R_a beskriver for ruheden på en overflade:

- R_z er den maksimale forskel i højde fra top til bund over en referencelængde l_r som angivet på Figur 8 (orange farve). En stor værdi af R_z indikerer, at overfladen har toppe eller dale, hvor væskestrøm bliver bremset eller rust og sprækker lettere kan dannes. På Figur 8 er $R_z = 147 \mu\text{m}$ (0,147 mm), hvilket er en relativt stor værdi. For rustfrit stål ligger R_z normalt på under $20 \mu\text{m}$ (0,020 mm) [1].
- R_{Sm} er den gennemsnitlige afstand mellem toppe. På Figur 8 er afstanden mellem de fem toppe angivet med sorte pile. R_{Sm} findes ved at tage gennemsnittet af de fundne afstande inden for en referencelængde l_r . Den ligger her på 0,182 mm. En meget lille værdi betyder, at højden svinger meget omkring middellinjen, mens en stor værdi betyder, at højden varierer mere blødt. Dette er f.eks. med til at bestemme hvor let et plastemne forlader en støbeform.



Figur 9: Illustration af udregning af R_a parameteren. A) Profilen fra Figur 8 med markering af arealet over (blå farve) og under (grå farve) middellinjen. B) Områderne under middellinjen vendes, så hele kurven ligger over. C) R_a findes som den gennemsnitlige højde af kurven over middellinjen.

- R_a er den gennemsnitlige højdeforskel fra middellinjen inden for referencelængden l_r . Bestemmelsen af R_a er angivet på Figur 9. Værdien af R_a indikerer, hvor stor den samlede gennemsnitlige højdevariation er. En R_a på $28 \mu\text{m}$ ($0,028 \text{ mm}$) som på Figur 9 er relativ stor og svarer til ruheden på groft sandpapir. For rustfrit stål ligger R_a på nogle få μm eller mindre [1] [3].

For at sikre en bedre statistik for parametrene, vil man ofte måle mere end én referencelængde l_r , typisk fem. Ruhedsparametre udregnes så for hver l_r længdeafsnit og gennemsnitsværdien anvendes som resultat for målingen. Den totale længde kaldes for evalueringsslængden l_n .

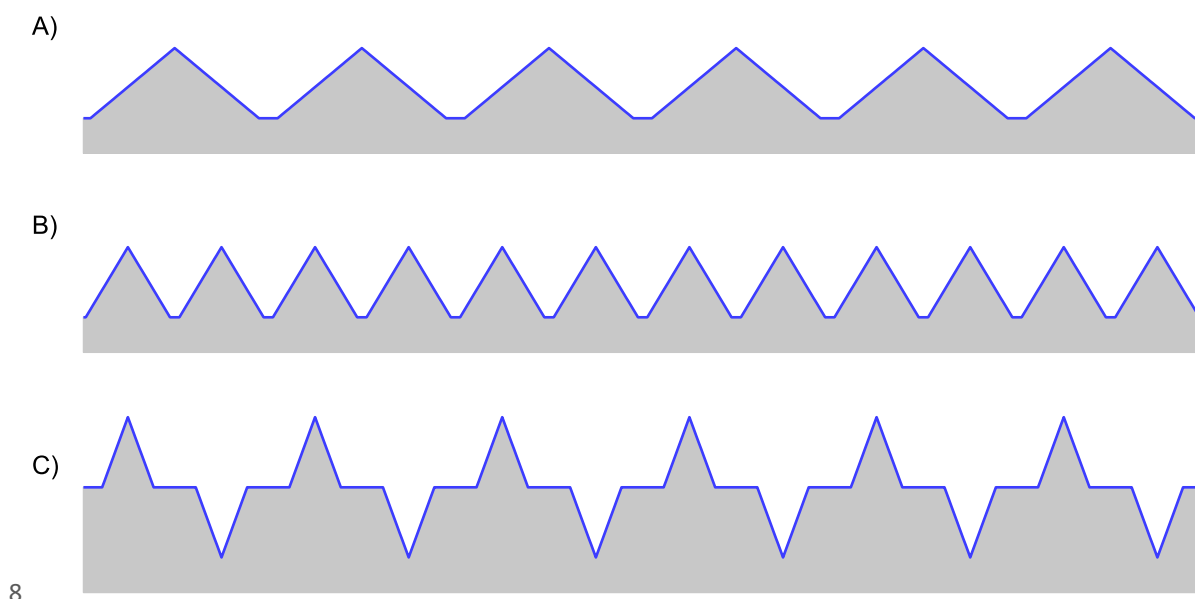
Boks 4: Profiler og parametre

Til højdeprofiler knytter der sig en lang række størrelser og begreber. Her er et overblik over nogle få af dem:

- l_r – referencelængden for aftastningen.
- l_n – den totale evalueringsslængde for aftastningen, typisk fem referencelængder
- Middellinjen følger middelværdien for profilen.
- R_z – den maksimale højdeforskel inden for en l_r .
- R_{Sm} – den gennemsnitlige afstand mellem to toppe inden for en referencelængde.
- R_a – den gennemsnitlige højdeforskel fra referencelængdens middellinje.

Af alle ruhedsparametre er R_a den mest anvendte. Mange krav og specifikationer til ruhed angives i form af R_a -værdier. Også selvom R_a ikke altid er den bedste parameter til at beskrive overfladens ruhed.

Ruhedsparametrene i dette afsnit samt en lang række yderligere parametre er beskrevet i ISO standard 4287 [4]. En opsummering af de nævnte begreber og parametre er givet i boks 4. Se også reference [5] (på engelsk).



Figur 10: Illustrationer af de tre profiler A), B) og C) med samme Ra -værdi. Ydermere har A) og B) samme afstand mellem højeste top og laveste dal, mens A) og C) har samme afstand mellem to toppe. Både Ra , RSm og Rz skal anvendes for at kunne skelne de tre profiler.

3.2.2 Hvilke parametre skal man bruge?

Som nævnt er Ra den mest anvendte ruhedsparameter, men den er ikke altid nok. Dette illustreres af de tre profiler i Figur 10. Alle tre har den samme Ra -værdi, men overfladerne har forskellige geometrier og dermed forskellige egenskaber. For at kunne skelne mellem de tre profiler er det derfor nødvendigt at bruge flere ruhedsparametre.

En mulighed er at inkludere RSm og Rz i analysen. Da profil A) har en dobbelt så stor afstand mellem toppene som B), er RSm størst for A). Til gengæld har A) og B) samme højde mellem top og bund, og derfor er Rz ens for de to. Altså kan A) og B) skelnes ved at inkludere RSm i analysen.

For profil A) og C) er RSm derimod den samme, da der er samme afstand mellem toppene. Til gengæld er Rz større for C) end A), da afstanden mellem toppene på takkerne og bunden på de takkeformede dale for profil C) er større end højden af takkerne for A). Altså kan A) og C) skelnes ved at inkludere Rz i analysen.

Hvor mange ruhedsparametre, det er nødvendigt at inkludere i en ruhedsanalyse, afhænger af den konkrete situation. Så længe en enkelt parameter såsom Ra fanger, hvad man vil undersøge for, behøver man ikke bruge flere. Det er dog vigtigt at huske på, at en enkelt parameter ikke fortæller alt om overfladens ruhed.

3.2.3 Parametre for bølgethed

Bølgetheden af en overflade kan naturligvis også være interessant at karakterisere. Det vil være i tilfælde, hvor den lidt blødere variation på mikroskala er vigtig for et emnes egenskaber.

For en optisk linse er kvaliteten f.eks. afhængig af højdevariationen på både mikroskala og makroskala. Både ruhed, bølgethed og form har betydning. For rør til produktion af fødevarer eller medicin er det omvendt ruheden, der er i fokus. Bølgetheden har for bløde højdevariationer til at bakterier og snavs kan sidde fast.

Til at beskrive bølgheden findes et sæt af tilsvarende parametre med samme definition som for ruheden. For bølgheden beregnes de blot ud fra bølghedsprofilen i stedet for ruhedsprofilen og benævnes med W (fra engelsk: waviness) i stedet for R . Med andre ord svarer W_a , W_z og W_{Sm} for bølghed til R_a , R_z og R_{Sm} for ruhed.

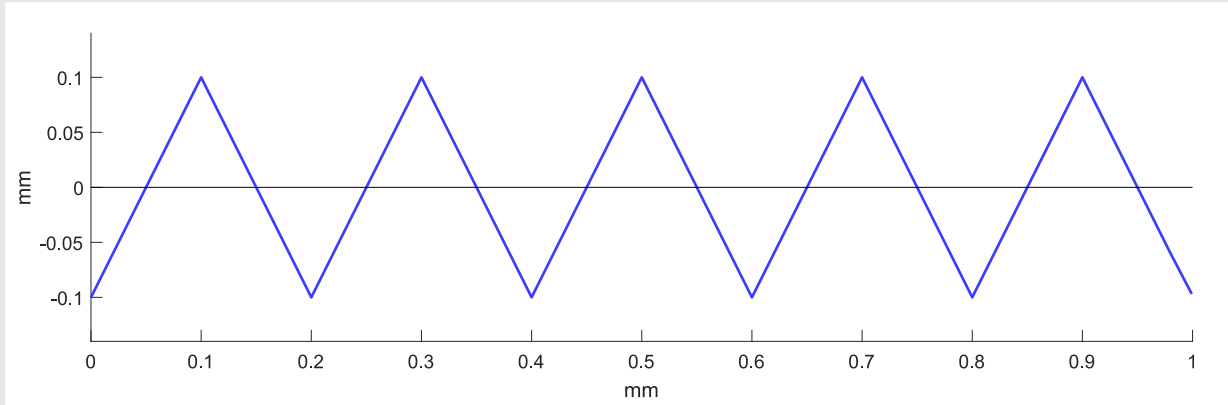
Det beskrives i afsnit 4, hvordan ruhed og bølghed adskilles i separate profiler.

Boks 5: Test dig selv II – Ruhedsparametre

På figuren ses en aftastet højdeprofil for en overflade. Angiv på profilen / find værdierne for følgende:

- Referencelængden l_r
- Middellinjen
- Ruhedsparametrene R_z og R_{Sm} .

(Ekstra: Som udfordring kan du prøve at finde R_a også)

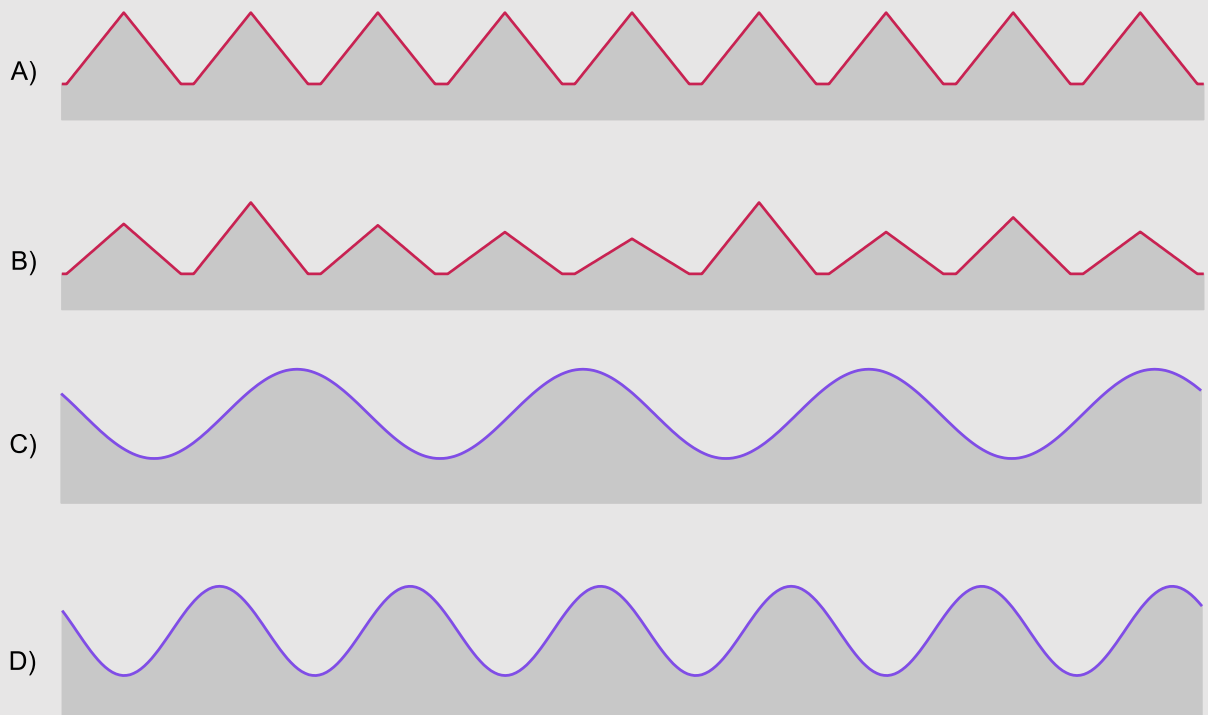


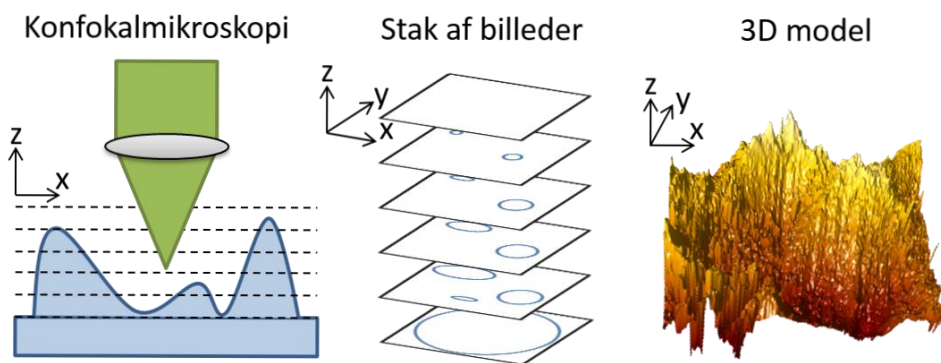
Hvilken ruhedsparameter skal bruges?

På figurerne nedenfor vises to sæt af profiler.

- Overflade A) og B)
- Overflade C) og D)

Afgør for hvert sæt, om de to overflader har samme eller forskellig R_z , R_{Sm} og R_a værdi. Find den eller de parametre, der er forskellige og som kan bruges til at skelne overfladerne.





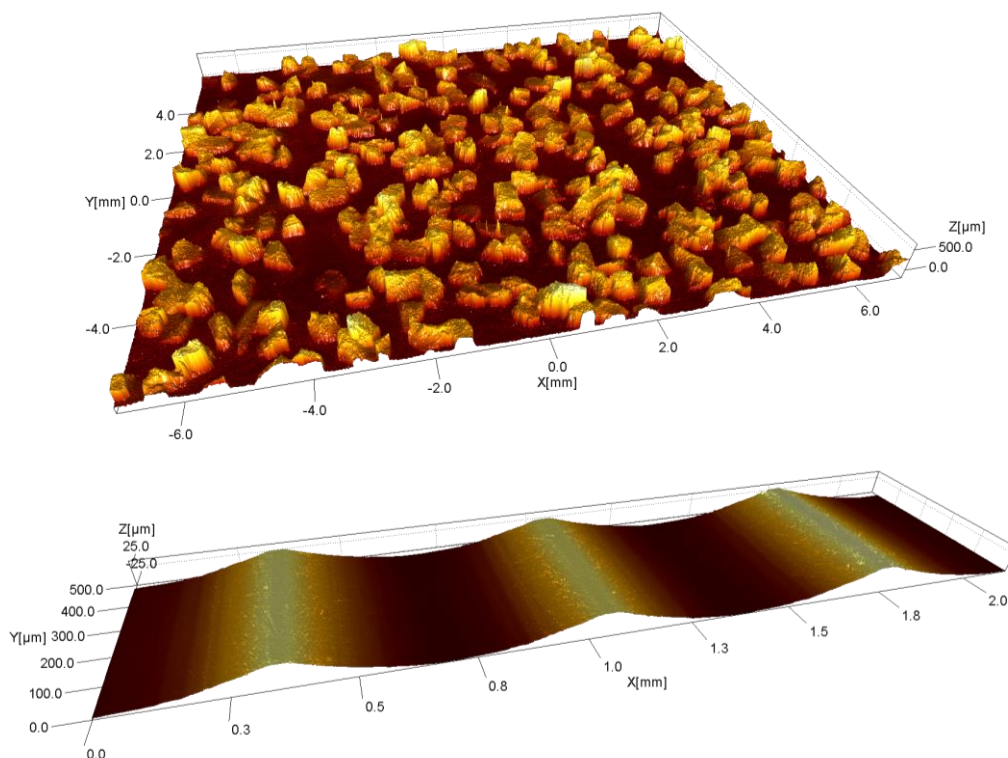
Figur 11: Opmåling af overflader ved brug af konfokalmikroskopi. Mikroskopet "ser" kun den del af overfladen, der er i en bestemt afstand fra objektivet. Tages en stak af billeder i en række afstande kan alle højdevariationer på overfladen måles. Til sidst sættes det sammen til en fuld 3D model af overfladen.

3.3 Arealer

Indtil videre har vi betragtet højdeprofiler langs linjer på en overflade (tværsnit). Men da en linje kan lægges på mange måder på en overflade, kan man spørge, om ruhedsparemetrene var blevet de samme med en anden orientering af højdeprofilen.

En måde at få information fra alle retninger er at måle over et areal i stedet for en enkelt linje. Dette kan f.eks. gøres ved brug af mikroskopimetoder, som illustreret på Figur 11. Mikroskopet opmåler højdevariationerne på overfladen inden for dets billedfelt.

To eksempler på arealmålinger med mikroskoper er vist på Figur 12. Med arealmålingen dannes *højdekort*



Figur 12: Opmålinger af overflader illustreret ved to arealmålinger. Øverst: Område af P40 sandpapir med korn fordelt tilfældigt ud på overfladen. Nederst: Område på ruhedsnormal med bølget højdevariation langs den ene retning.

for området, hvilket svarer til højdeprofiler fra linjemålinger. Øverst på Figur 12 ses et højdekort for et stykke grovkornet sandpapir. Nederst er vist et højdekort for et område på en ruhedsnormal. Det fremgår at et højdekort både har en x, y og z akse. Det er et såkaldt 3D billede. Mens højdeprofil kun har en x og z akse.

Sandpapir består af sandkorn, der er fordelt tilfældigt over overfladen, som det også fremgår af højdekortet. Det vil derfor ikke forventes, at ruheden på sandpapiret har en foretrukken retning. Blev to højdeprofiler målt med forskellige orienteringer på sandpapiret ville ruhedsparametrene forventes at have samme værdier.

På ruhedsnormalen ligger den bølgede højdevariation derimod orienteret i én bestemt retning. Her vil der være store forskelle i værdier alt efter om en højdeprofil trækkes på langs eller på tværs.

For arealer findes der en række ruhedsparametre, der svarer til parametrene for profiler fra afsnit 3.2.1. To af disse er Sa og Sz (se boks 6), som svarer til Ra og Rz for linjer. For arealer er der ikke en parameter, som svarer til RSm . Til gengæld giver arealer mulighed for en række andre parametre i forhold til profilerne. Alle ruhedsparametre for arealer er defineret i ISO standard ISO 25178-2, se reference [6].

Boks 6: Arealer og parametre

Til beskrivelse af arealer findes nogle af de tilsvarende parametre som dem til profiler:

- Sz – den maksimale højdeforskel mellem bund og top for arealet.
- Sa – den gennemsnitlige højdevariation over arealets referenceflade.

4 Filtrering – adskille form, bølgethed og ruhed

At kunne skelne mellem form, bølgethed og ruhed kræver en måde at kunne adskille de tre på. Til dette anvendes en *filtrering* af den målte højdeprofil.

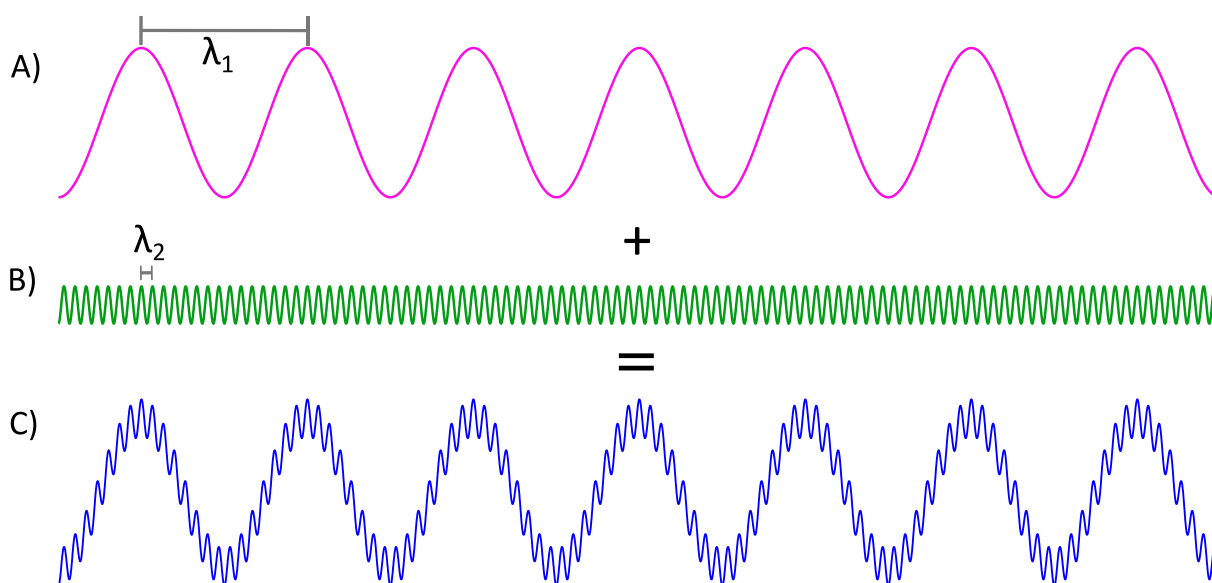
Filtrering er kort sagt en proces, hvor bestanddele af forskellig størrelse adskilles ved at de mindste dele f.eks. filtreres fra og de større beholdes. Dette kendes fra køkkenet, hvor en si bruges til at sigte klumper fra melet, dørslaget fjerner jord og småsten fra salaten, og te- og kaffefiltre adskiller væsken fra teblade og kaffegrums. Størrelsen af hullerne i filteret bestemmer grænsen for hvor store bestanddele, der beholdes i filteret. De små huller i kaffefilteret gør, at langt mindre bestanddele beholdes end med en si eller et dørslag.

På samme måde handler filtrering af højdeprofiler om at adskille forskellige størrelser. For højdeprofiler adskilles der dog ikke efter diameteren af bestanddele såsom melklumper eller kaffegrums, men derimod efter kort- og langbølgede variationer i højdeprofilen.

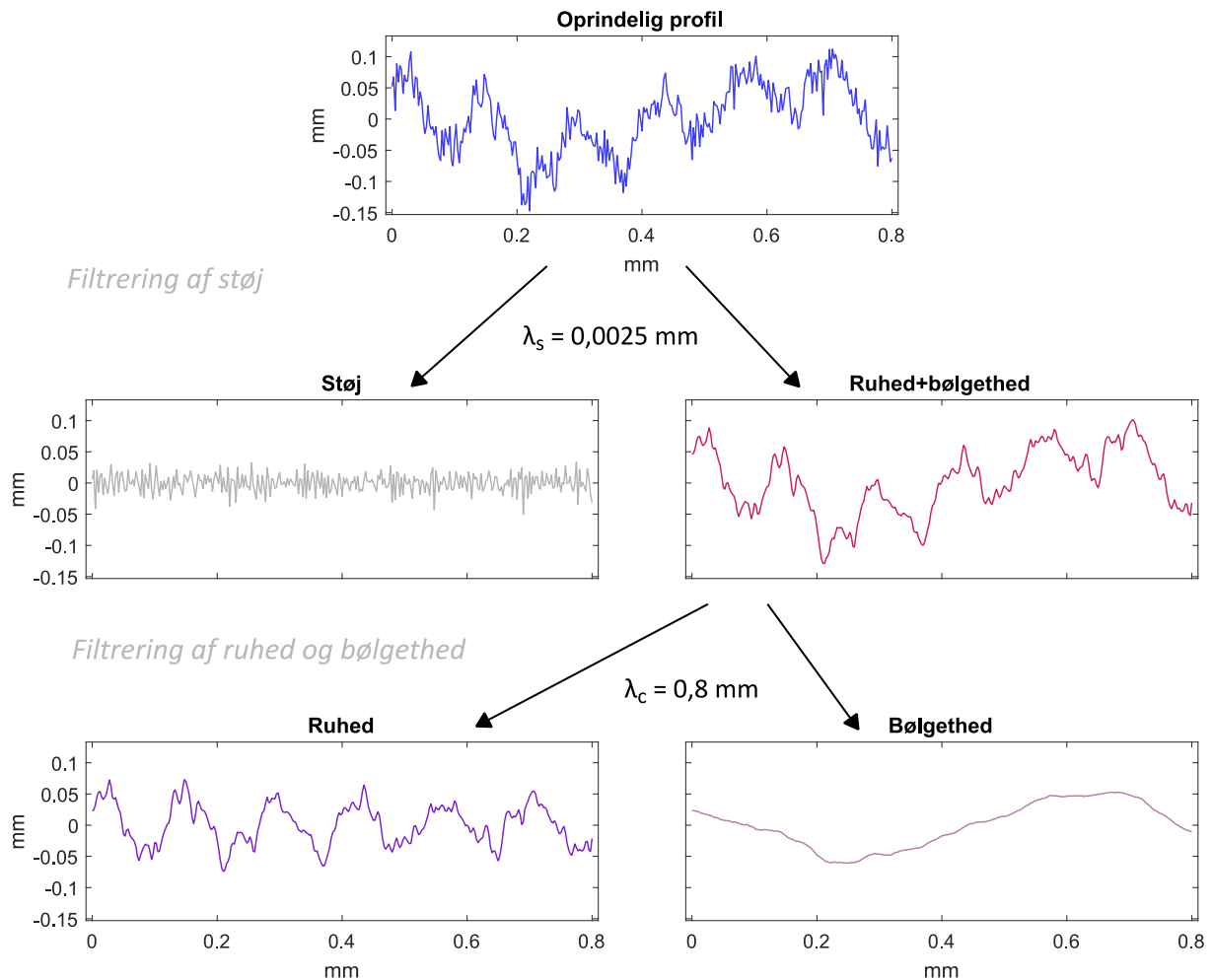
Et eksempel på en kort- og en langbølget variation ses på Figur 13. Den bølgeformede profil A) har langt mellem toppene i forhold til B), og er derfor mere langbølget. Begge kan beskrives med en enkelt afstand mellem toppene, hvilket også kaldes *bølgelængden* og benævnes med λ . På Figur 13 er de to bølgelængder λ_1 for A) og λ_2 for B) angivet.

Profil C) indeholder derimod både en kortbølget og langbølget variation. Den er fremkommet ved, at de to bølgeformer A) og B) er lagt oven i hinanden. På den måde er profil C) kommet til at indeholde både en blød og en hurtig højdevariation. En form for lignende kombination af hhv. kort- og langbølget variation sås også på i profilen på Figur 1B på side 1 i form af hhv. ruhed og bølgethed.

Sammenlignes Figur 1B med profil C) kunne en nærliggende skelnen mellem ruhed og bølgethed derfor være at dele op i to bølgelængder. En lille bølgelængde for ruhed og en stor bølgelængde for bølgethed. Ved at beskrive profilen i form af bølgelængder, har vi nu en måde at adskille de forskellige dele i en filtrering. For profil C) kan dette således gøres ved at anvende et filter med en størrelse, der ligger mellem



Figur 13: Illustration af forskellige bølgelængder. A) En profil med langt mellem toppene og derfor en stor bølgelængde λ_1 . B) En profil med kort mellem toppene og derfor en lille bølgelængde λ_2 . C) Summen af A) og B) hvilket giver en profil sammensat af begge bølgelængder λ_1 og λ_2 .



Figur 14: Illustration af filtrering af en overfladeprofil. Først filtreres påvirkningen fra tastens spids fra ved brug af en lille filterstørrelse λ_s . Dernæst kan bølgethed og ruhed separeres ved at anvende en filterstørrelse $\lambda_c = 0,8$ mm, der er lig med referencelængden l_r for profilen.

bølgelængderne λ_1 og λ_2 . På denne måde adskilles profil C) i de to oprindelige kurver A) og B).

4.1 Filtrering af profiler

Med metoden til at filtrere efter bølgelængde kan vi nu vise, hvordan man kommer fra ruhedsmålingen af overfladen på Figur 7 til ruhedsprofilen på Figur 8. Processen er illustreret på Figur 14.

Øverst på Figur 14 ses den rå højdeprofil, som således indeholder alt, der registreres af ruhedsmåleren. Dette gælder dels form, de kort- og langbølgede variationer, men derudover vil enhver form for støj i målingen også være indeholdt her.

Først fjernes formen fra profilen. Bemærk at dette allerede er gjort på den øverste profil på Figur 14.

Dernæst filtreres de meget korte bølgelængder fra ved at anvende filterstørrelsen λ_s . λ_s filtret fjerner støjen, idet støj forstyrrer billedet af, hvordan overfladen reelt ser ud.

λ_s filtret anvendes også for at fjerne påvirkninger fra tastspidsens dimensioner. Tastspidsen er ikke uendelig spids og derved kan tastspidsen ikke komme ned i meget små huller i overfladen. Afhængig af spidsens radius og form vil den aftastede højdeprofil være påvirket af spidsens udformning. Derfor benyttes et

standard filter λ_s med filterstørrelse $2,5 \mu\text{m}$ for målingen i Figur 14 for at fjerne påvirkningen fra spidsens dimension. Derved sikres at man kan sammenligne målinger foretaget med forskellige ruhedsmålere. Filtrering med λ_s er illustreret midt på Figur 14.

Efter form og de bølger, som er kortere end λ_s , er adskilt, står vi tilbage med en profil, der indeholder både ruhed og bølgethed. Denne profil kaldes *primærprofilen*. I nogle tilfælde er det primærprofilen, man er interesseret i, hvorved filtreringen stopper her. Ofte ønskes dog en adskillelse i ruhed og bølgethed.

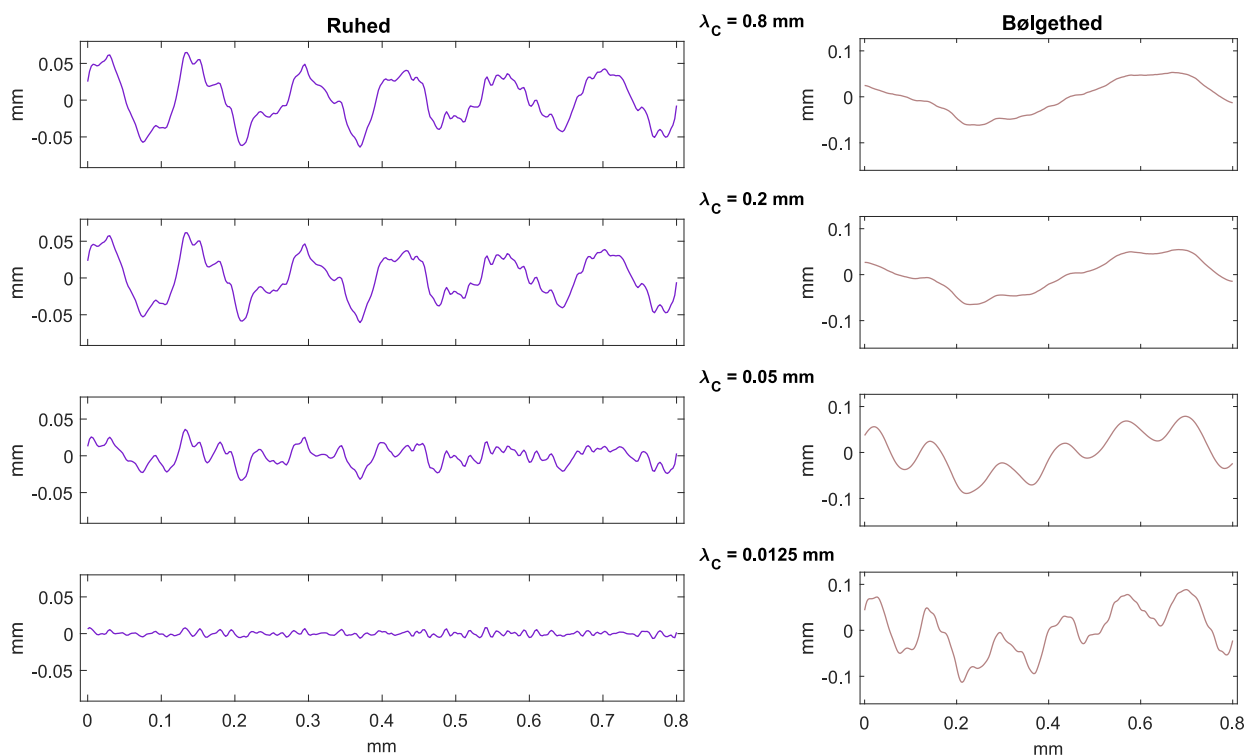
Til at adskille disse to benyttes nu en filterstørrelse λ_c , som sættes lig referencelængden l_r for målingen, dvs. $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$ for målingen på Figur 14. Derved tages alle variationer på nær de mest langbølgede med i ruhedsprofilen. Resten adskilles som en del af bølgetheden. Dette er illustreret i det nederste skridt på Figur 14.

Tilbage er nu to adskilte profiler for ruhed og bølgethed. Ud fra disse kan parametrene beskrevet i afsnit 3.2.1 og 3.2.3 for hhv. ruhed og bølgethed beregnes.

4.2 Filterstørrelsens indflydelse

Størrelsen på filteret er afgørende for, hvilke dele af en højdevariation, der adskilles. Som eksempel viser Figur 15, hvordan ruheds og bølgethedsprofilerne fra Figur 14 afhænger af filterstørrelsen λ_c . Filterstørrelsen kaldes også med et engelsk udtryk for filterets *cut-off*.

Øverst er vist filtreringen ved samme filterstørrelse som på Figur 14 altså $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$. Ved sænkningen af



Figur 15: Illustration af effekten af forskellig filterstørrelse λ_c . Venstre og højre kolonne viser den del af højdevariationerne, der hhv. medtages som ruhed eller bølgethed. Når filterstørrelsen mindskes, mindskes ruhedsdelen og bølgetheden øges.

filterstørrelsen til $\lambda_c = 0,2$ mm, som vist i den næst-øverste række, sker der kun minimale ændringer af profilerne for ruhed og bølgethed.

Til gengæld sker der en meget stor ændring, når filterstørrelsen sænkes yderligere til $\lambda_c = 0,05$ mm. De fem store toppe, som før var i ruhedsprofilen, er nu blevet en del af bølgetheden. Dette skyldes, at filterstørrelsen nu er mindre end den gennemsnitlige afstand mellem toppene på 0,18 mm. Derved filtreres toppene fra ruheden og bliver en del af bølgetheden.

Ved en yderligere sænkning af filterstørrelsen til $\lambda_c = 0,0125$ mm er endnu mere af højdevariationen flyttet fra ruhed til bølgethed. Den tilbageværende ruhed er meget mindre end ved det oprindelige filter på $\lambda_c = 0,8$ mm.

Man skal altså være meget opmærksom på at anvende en til målingen korrekt filterstørrelse. Kommer man til at vælge en forkert filterstørrelse ved et uheld, kan den beregnede ruhed blive ændret ganske dramatisk. Det er altså vigtigt at følge den samme procedure hver gang. ISO standarderne ISO 3274 og ISO 4288 beskriver, hvordan de rette filtre skal vælges i forhold til overfladens geometri.

4.3 Filtering af arealer

For arealer anvendes filtre ligeledes til at adskille bølgethed fra ruhed. Filtringen sker også i flere skridt. Først filtreres støjen fra og dernæst adskilles ruheden og bølgetheden. Her kaldes filteret til støjen for *S-filteret*, hvilket svarer til λ_s filteret for profiler. Filteret til at adskille ruhed og bølgethed kaldes *L-filteret*, som svarer til λ_c filteret for profiler.

Som filterstørrelse for *L-filteret* anvendes typisk bredden af arealet. Størrelsen af *S-filteret* afhænger af måleinstrumentets opløsning. Standardværdier for filterstørrelser for arealer er beskrevet i ISO 25178-3, se reference [7].

Boks 7: 16%-reglen

Ruhed kan variere en del fra sted til sted på en overflade. Så for at sikre en repræsentativ målt ruhedsværdi skal man foretage virkelig mange målinger. Det er tidskrævende og dyrt, så for at undgå at foretage en masse ruhedsmålinger hver gang en tolerance skal verificeres indførtes 16%-reglen:

Hvis tolerancen på en ruhedsparameter er specificeret som en øvre grænse på den tekniske tegning, så betyder 16%-reglen at 16% af de målte ruhedsværdier må overstige den øvre grænse.

Hvis tolerancen er beskrevet som en nedre grænse, må 16% af de målte ruhedsværdier være lavere end den nedre grænse.

5 Geometriske produktspecifikationer (GPS)

Overfladers geometri omtales i GPS systemet som *overfladebeskaffenhed*. Overfladebeskaffenheden opdeles i areal og profil. Så ISO standarderne inden for overfladers geometri er inddelt efter, om ruheden bestemmes ved hjælp af en profil eller areal af overfladen. Overfladebeskaffenhed findes således i to rækker i GPS matrixmodellen.

Der er en del ISO standarder, som omhandler overfladebeskaffenhed. Inden for profilmethoden findes blandt andet ISO 4288. Den beskriver hvordan overfladebeskaffenhed evalueres ved hjælp af en profil af overfladen, og hvordan de målte værdier sammenlignes med toleranceværdier. Dette er beskrevet i *16%-reglen*. 16%-reglen er gengiven i boks 7. Derudover defineres, hvilke referencelængder, l_r og evalueringslængder, l_n som skal benyttes på en given overflade.

En anden standard, som skal nævnes, er ISO 4287 [4]. Som nævnt tidligere definerer den alle ruhedsparametre og begreber, som benyttes til at beskrive profiler og filtre.

Inden for areal overfladebeskaffenhed definerer ISO 25178-2 areal ruhedsparametre og de generelle begreber inden for areal metoden. Mens ISO 25178-3

omhandler valgt at rette S- og L-filtre som beskrevet tidligere.

5.1 Angivelse af specifikationer for profil ruhed

På en teknisk tegning angiver konstruktøren/designeren specifikationer og krav for et produkt eller en komponent. Nogle af ISO GPS standarderne beskriver, hvordan krav og tolerancer skal angives på en tegning. Symbolerne og indikationerne, som benyttes til at angive tolerancer for overfladebeskaffenheden, er beskrevet i ISO 1302 for profiler og ISO 25178-1 for arealer.

Her vil vi ikke gå i dybden med de forskellige symboler men blot vise nogle eksempler for angivelse af profil overfladebeskaffenhed. Der henvises til reference [8] for en grundig gennemgang af symbolerne og deres betydning.

På Figur 16 ses forskellige symboler, som angiver krav til overfladebeskaffenheden af en komponent på en teknisk tegning.

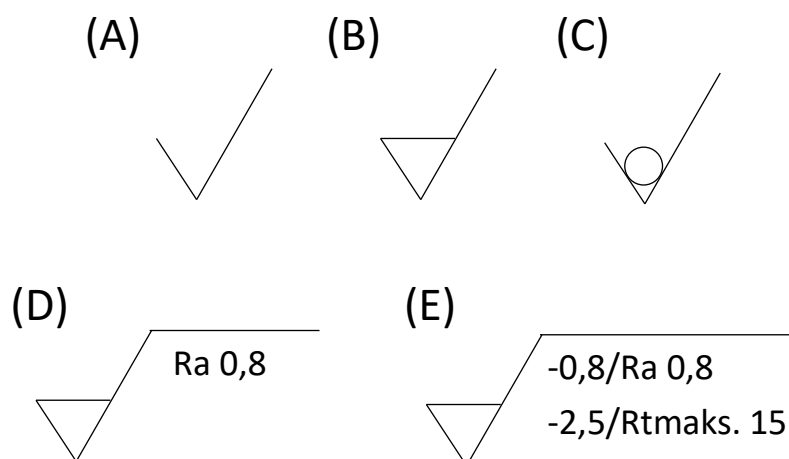
Symbol (A) er *grundsymbolet*. Hvis grundsymbolet anvendes, betyder det, at det er valgfrit, om overfladen

bearbejdes ved fjernelse af materiale eller ej. Eksempler på metoder, hvor materiale fjernes, er slibning og drejning.

Symbolerne (B) og (C) er *basissymboler*. Hvis kravet til fremstilling af en overflade er, at det skal ske ved fjernelse af materiale, så benyttes symbol (B). Er kravet derimod at der ikke må fjernes materiale ved fremstilling af overfladen, så angives symbol (C). Det betyder, at komponenten skal fremstå som støbt eller smedet.

Grundsymbolet og basissymboler stiller kun krav til fremstillingsprocessen, men for et komplet krav til overfladen angives også krav til ruhedsparametrene. Dette angives under en vandret streg, hvor først ruhedsparameteren og derefter tolerancen angives. Symbol (D) angiver, at ruhedsparameter Ra skal overholde tolerancegrænsen $0,8 \mu\text{m}$, og fremstillingen skal ske ved fjernelse af materiale. Tolerancerne for ruhedsparametre er altid i μm , også selvom det ikke er angivet på symbolet. Det er underforstået.

På (E) er det ikke angivet om grænsen på $0,8 \mu\text{m}$ er en nedre eller øvre grænse. Når det ikke er angivet, skal tolerancen ses som en øvre grænse. Altså at Ra -værdien skal være mindre end $0,8 \mu\text{m}$. Ønsker man eksplicit at angive, om grænsen er øvre eller nedre,



Figur 16: Symboler til angivelse af overfladebeskaffenhed på en teknisk tegning. (A) er grundsymbolet mens (B) og (C) er basissymboler. (D) og (E) er eksempler på fulde krav til en overflade.

angives dette med henholdsvis "U" (upper) eller "L" (lower) foran ruhedsparemeteren.

Derudover skal overfladen overholde 16%-reglen som bekrævet i boks 7. Det vil sige, at 16% af de målte Ra -værdier må være større end $0,8 \mu\text{m}$. Hvis ingen af de måle ruhedsparemetre må overskride tolerancen, angives et "maks." eller "min." efter ruhedsparemeteren.

På symbol (E) er angivet krav til to ruhedsparemetre Ra og Rt . (Rt er ikke gennemgået i dette kompendium). Tallet angivet foran tegnet "/" angiver hvilken filterstørrelse λ_c , som skal benyttes til beregning af ruhedsparemetrene. Som beskrevet i afsnit 4.2 har det valgte cut-off eller filterstørrelsen stor indflydelse på den ruhedsværdi, man finder. Derfor er det vigtigt, at konstruktøren angiver hvilket filter, som skal benyttes. I (E) specificeres, at filteret, som skal benyttes til udregning af Ra , er $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$ (cut-off på $0,8 \text{ mm}$). Filteret, som skal benyttes til udregning af Rt , er derimod $\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$.

"-" tegnet foran filterenes cut-off angiver at det kun er det ene filter, der er angivet. Det andet filter λ_s er ikke angivet. Det betyder, at valget af dette filter skal følge ISO standard 3274. Denne standard anfører, at for λ_c filtre på $0,8 \text{ mm}$ og $2,5 \text{ mm}$ skal λ_s være $1/300$ af λ_c . Det vil sige:

- $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$ så er $\lambda_s = 2,5 \mu\text{m}$
- $\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$ så er $\lambda_s = 8 \mu\text{m}$

For Ra er specificeret, at værdien skal være mindre end $0,8 \mu\text{m}$ (øvre grænse) og at 16%-reglen er gældende. For Rt er derimod angivet et "maks." bag. Det angiver at 16%-reglen er ophævet for denne grænse. Det betyder, at ingen af målingerne af Rt må være større end de specificerede $15 \mu\text{m}$. En sådan specifikation sikrer, at der ikke er skarpe toppe og dybe dale i overfladen. Sådanne toppe og dale kan nemlig være startsted for udviklingen af revner og korrosion [3].

6 Opsummering

Ruhed er knyttet til overfladers geometri på mikroskala. Men selvom geometrien forbundet med ruhed ikke kan ses direkte med det blotte øje, har ruheden stor betydning for emners æstetiske og funktionelle egenskaber.

I dette kompendium introduceres læseren til overfladers geometri på mikroskala i form af ruhed og bølgethed. Hovedfokus er lagt på ruhed.

Begreberne form, bølgethed og ruhed introduceres, og der gives eksempler på, hvordan ruhed spiller ind på emners egenskaber og har betydning for virksamheder.

Der gennemgås både kvalitative som kvantitative måder at beskrive og vurdere overfladeruhed på. De kvalitative metoder beror på en visuel og følemæssig vurdering af overfladen, mens ruhedsparametre introduceres som en kvantitativ måde at beskrive ruheden på.

Principperne bag databehandlingen fra ruhedsmåling til beregning af ruhedsparametre gennemgås. Her introduceres filtrering som en måde at få adskilt ruhed fra den øvrige overfladegeometri.

Slutteligt præsenteres placeringen af ruhed i GPS modellen med en introduktion til, hvordan ruhed specificeres korrekt på en teknisk tegning.

7 Ordliste

Begreb	Forklaring	Afsnit
Form	Overfladens geometri på makroskala	2
Bølgethed	Bølgetheden beskriver de blødere højdevariationer på en overflade set på mikroskala.	2
Ruhed	Ruheden udgør de hurtige højdevariationer på en overflade set på mikroskala.	2
Ruhedskomparator	En ruhedskomparator anvendes til en kvalitativ visuel og følemæssig bestemmelse af ruheden på en overflade.	3.1
Profilometer	En ruhedsmåler som med en mekanisk tast afmåler en højdeprofil langs en overflade.	3.2
Tastspids	Spidsen af tippen på en ruhedsmåler, der er i fysisk kontakt med den målte overflade. Tastspidsen er kegleformet med en sfærisk spids for enden.	3.2
Primærprofil	Primærprofilen er den målte profil efter fjernelse af form samt meget korte bølgelængder ved brug af filteret λ_s .	4.1
Ruhedsprofil	Ruhedsdelen af profilen, som fremkommer efter adskillelse af ruhed og bølgethed fra primærprofilen ved brug af filteret λ_c .	3.2
l_r	Referencelængden l_r er den aftastede længde, som anvendes til at udregne nogle ruhedsparemetre, f.eks. R_a .	3.2
l_n	Evalueringslængden l_n er den totale aftastede længde for en profil, som typisk er på fem referencelængder.	3.2.1
Middellinje	Middellinjen er en vandret linje langs gennemsnitsværdien for profilen.	3.2.1
R_a	Ruhedsparameteren R_a angiver den numerisk gennemsnitlige højdevariation indenfor en referencelængde l_r .	3.2.1
R_z	Ruhedsparameteren R_z angiver den maksimale højdeforskel fra top til dal indenfor en referencelængde l_r .	3.2.1
R_{Sm}	Ruhedsparameteren R_{Sm} angiver den gennemsnitlige afstand mellem to toppe inden for en referencelængde.	3.2.1
Konfokalmikroskop	Et måleinstrument til optisk måling af overflader. Mikroskopet opmåler højdevariationerne på mikroskala i et areal på overfladen.	3.3
Areal	Højdevariationen på mikroskala over et areal på en overflade kan give en retningsuafhængig information af ruhed og bølgethed på en overflade.	3.3
Filtrering	Filtrering er en metode til at adskille en kurve i to dele efter bølgelængden af kurvens udsving. I dette kompendium bruges filtrering på højdevariationer til bl.a. at adskille ruhed og bølgethed i separate dele.	4
λ_s	De meget korte bølgelængder filtreres fra en aftastet profil ved at anvende λ_s filteret.	4.1
λ_c	Primærprofilen adskilles i en ruhedsprofil og bølgethedsprofil ved brug af λ_c filteret.	4.1

8 Svar på test-dig-selv

8.1 Test-dig-selv I

Forslag til forklaringer og svar på spørgsmål

1. Generelt set vil neglen være mere følsom over for højdevariationer end fingerspidsen. Man vil mærke større vibrationer i fingeren, når det er neglen, der føres over overfladen.
2. Med neglen er det et mindre område, der er i kontakt med overfladen end med fingerspidsen.
3. Vinduesrammen har størst ruhed. Glas er meget glat og nærmest uden ruhed. Er vinduesrammen af træ eller metal vil den generelt have en større ruhed, men det afhænger af materialet.
4. Papiret vil typisk have størst ruhed. Træfibrene i papiret giver en vis ruhed, mens paperback bogomslag typisk er lavet af lamineret karton, som giver en meget glattere overflade.
5. Skærm og bagside har nogenlunde samme lille ruhed. Både en touchskærm (hvis den er uden ridser) og en lakeret bagside er meget glatte.

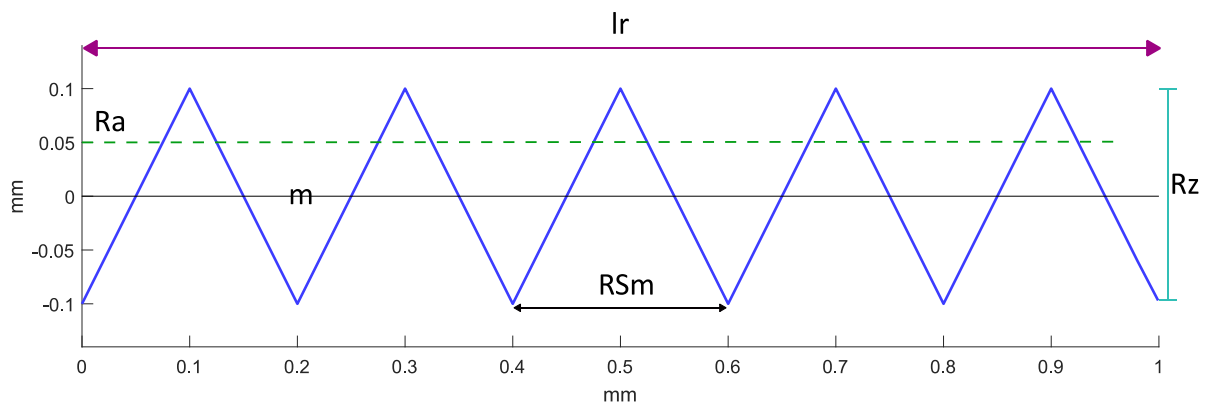
8.2 Test-dig-selv II

Forslag til forklaringer og svar på spørgsmål

- Parametrene er angivet på Figur 17 sammen med profilen. Middellinjen er den vandrette linje gennem 0 mm angivet med "m". Referencelængden l_r er 1 mm. Det skal lige bemærkes at referencelængden ikke nødvendigvis svarer til længden af profilen. Ofte vælger man at aftaste

et længere stykke end referencelængden idet filterene i efterbehandlingen så kan "køre" ordentlig ind, inden man begynder på analyse stykket. R_z er angivet yderst til højre og har værdien 0,2 mm. R_{Sm} er angivet midterst under profilen og har ligeledes værdien 0,2 mm. R_a har værdien 0,05 mm (50 μm), som angivet med den stiplede linje.

- R_a er forskellig for A) og B). Da toppene gennemsnitligt er højere for A) end B) er R_a større for A). Da forskellen mellem højeste top og dybeste dal er ens for A) og B), har de samme R_z . Der er samme afstand mellem alle toppe for både A) og B), så derfor er R_{Sm} også ens.
- R_{Sm} er forskellig for C) og D), da der er kortere afstand mellem toppene i D). R_z er ens for C) og D), da der er samme afstand mellem laveste dal og højeste top. R_a er ens for C) og D), da hver top når lige langt op og ned, så selvom D) har flere toppe, så vil variationen gennemsnitligt være lige stor for C) og D).



Figur 17: Profil fra Test-dig-selv II med parametre angivet.

9 Læringsudbytte

Efter gennemførelse af dette undervisningselement om ruhed er det målet, at den studerende

- Kan gengive begreber for overfladers geometri på flere skalaer, såsom ruhed og bølgethed.
- Kan oplyse én eller flere områder, hvor målinger af ruhed anvendes i virksomheder.
- Har viden om effekten af ruhed på en overflades (visuelle eller funktionelle) egenskaber og kan identificere eksempler på hvor ruhed spiller ind.
- Har kendskab til kvantitative parametre til at beskrive en overflades ruhed.
- Kan forklare hvilken information udvalgte ruhedsparemetre giver om en overflade.
- Kan redegøre for principperne i databehandlingen fra ruhedsmålingen til ruhedsparemetren.
- Kan beskrive hvordan filtre kan bruges til at isolere ruhedsdelen af overfladeprofilen.

10 Litteraturliste

- [1] C. Q. Jessen og E.-O. Jensen, Stainless steel for hygienic equipment in food/pharma, Damstahl, 2015.
- [2] Dansk Standard, DS/ISO 8503 Klargøring af ståloverflader forud for påføring af maling og lignende produkter - Sandblæste ståloverfladers ruhedsegenskaber, 2012.
- [3] P. Møller, L. P. Nielsen, R. Lage, C. Q. Jessen og E.-O. Jensen, Surface Treatment of Stainless Steel, Damstahl, 2016.
- [4] Dansk Standard, DS/ISO 4287 Geometriske produktspecifikationer (GPS). Overfladebeskaffenhed. Profilmethode. Termer, definitioner og overfladebeskaffenhedsparametre, 1998.
- [5] Mitutoyo America Corporation, »Quick guide to surface roughness measurement,« Mitutoyo, USA, 2016.
- [6] Dansk Standard, DS/ISO 25178-2 Geometriske produktspecifikationer (GPS) - Overfladebeskaffenhed: Areal - Del 2: Termer, definitioner og parametre, 2012.
- [7] Dansk Standard, DS/ISO 25178-2 Geometriske produktspecifikationer (GPS) - Overfladebeskaffenhed: Areal - Del 3: Specifikationsoperatorer, 2012.
- [8] H. S. Nielsen, GPS bogen, Dansk standard og Erhvervsskolernes Forlag, 2010.