

# Základy automatizace v IG

## **Světlovodné (vláknové) snímače**

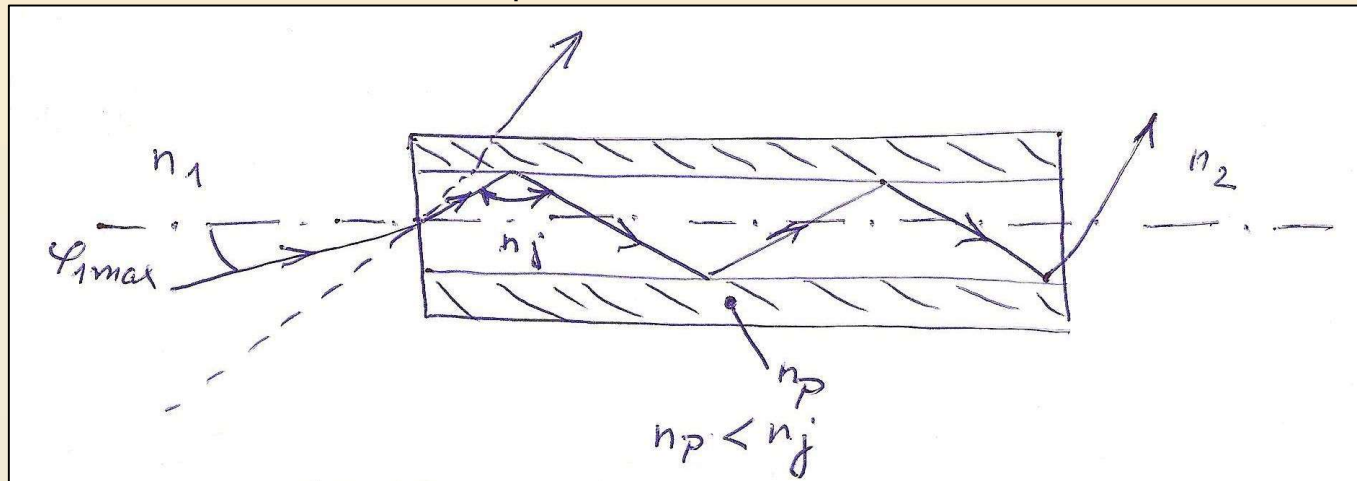
Jiří Pospíšil

**Katedra speciální geodézie  
Fakulta stavební  
ČVUT v Praze**

# Světlovodné snímače

## Světlovod

- prostředí, které vede světelné záření
- světlovodné jádro ( $n_j$ )
- jeden nebo více plášťů ( $n_p$ )



Průchod světla je výsledkem mnohonásobného úplného vnitřního odrazu na rozhraní dvou prostředí s různým indexem lomu.

Podmínka šíření světlovodem:

$$\varphi \leq \varphi_{\max} = \arcsin \frac{\sqrt{n_j^2 - n_p^2}}{n_1}$$

V praxi bývá  $\varphi = 12^\circ$  až  $37^\circ$

# Světlovodné snímače

## Vlastnosti světlovodů

- Útlum přenášeného světelného záření

$$\alpha = \frac{10}{l} \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \quad (dB \cdot km^{-1})$$

kde  $l$  – délka světlovodu v km

$P_1$  – výkon záření na vstupu světlovodu

$P_2$  – výkon záření na výstupu světlovodu

⇒ Příčiny ztrát:

1. Absorpce v objemu světlovodu
2. Rozptyl v objemu světlovodu
3. Rozptyl způsobený geometrickou nedokonalostí světlovodu
4. Ztráty způsobené zakřivením (ohybem) světlovodu
5. Ztráty v plášti

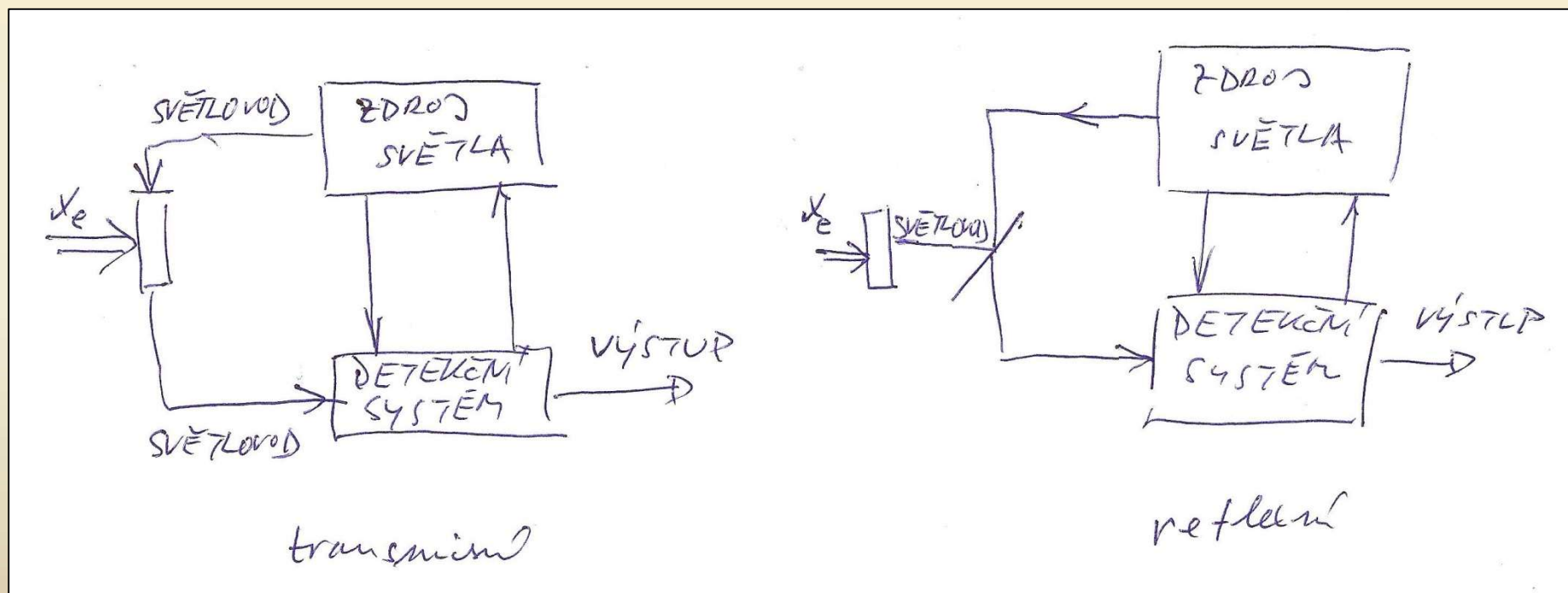
# Světlovodné snímače

Základ vývoje světlovodných snímačů byl vytvořen při sledování parazitních vlivů u světlovodů (teplota, deformace a další), kdy se došlo k závěru, že by se těchto vlivů dalo využít pro konstrukci snímačů těchto veličin.

- Dělení světlovodných snímačů podle rozměru a tvaru:
  1. Snímače jednovidové ( $\varnothing_j \sim 4 \mu\text{m}$ )
  2. Snímače mnohavidové ( $\varnothing_j < 200 \mu\text{m}$ )
  3. Snímače speciální (ploché, trubkové)

# Světlovodné snímače

- Dělení světlovodných snímačů podle vedení signálu ve světlovodu:
  1. Snímače transmisní
  2. Snímače reflexní – tím samým světlovodem se šíří signál po modulaci a odrazu



# Světlovodné snímače

- Dělení světlovodných snímačů podle změny parametru signálu působením měřené neelektrické veličiny:

1. intenzita
2. fáze
3. polarizace
4. vlnová délka
5. spektrum

Světelná vlna: 
$$a_i = P_i A_i \exp(j\omega_i t + \varphi_i)$$

kde  $j^2 = -1$

$A_i$  – amplituda

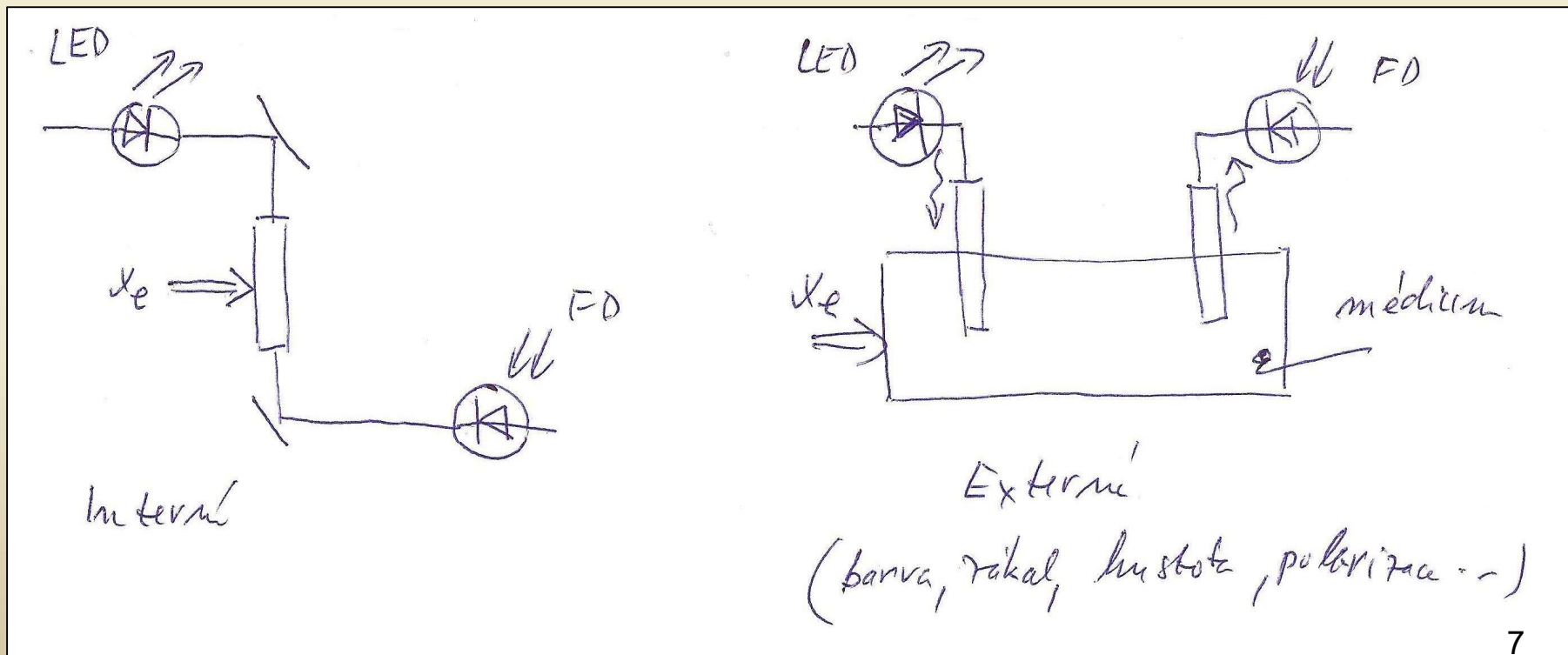
$P_i$  – polarizace

$\varphi_i$  – fáze

$\omega_i$  – frekvence

# Světlovodné snímače

- Dělení světlovodných snímačů podle působení měřené veličiny:
  1. Interní – měřená veličina přímo působí na světlovod
  2. Externí - primárním snímačem je další médium, které má potřebnou citlivost na měřenou veličinu a světlovodný snímač jen přenáší budící světelnou vlnu

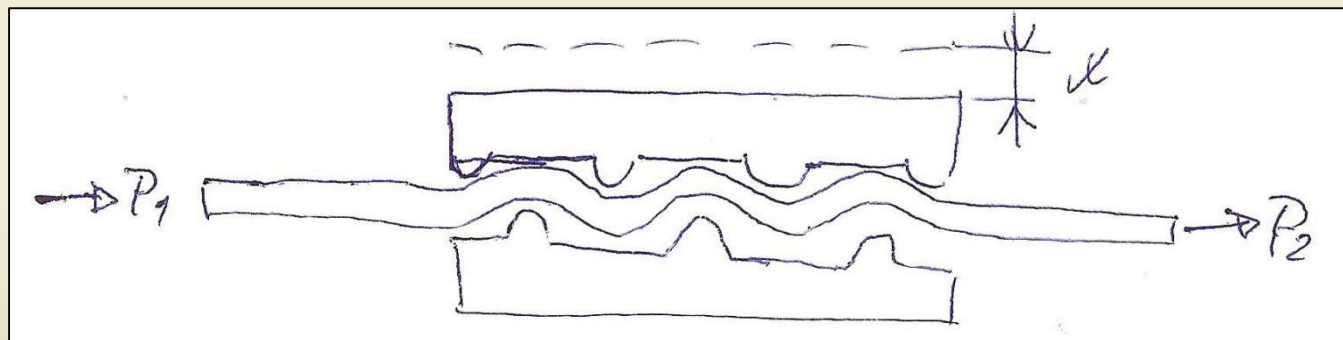


# Světlovodné snímače

## Měření posunu

Měření posunu pomocí světlovodného snímače je principiálně založeno na změně amplitudy a tedy výkonu, který je světlovodem přenášen.

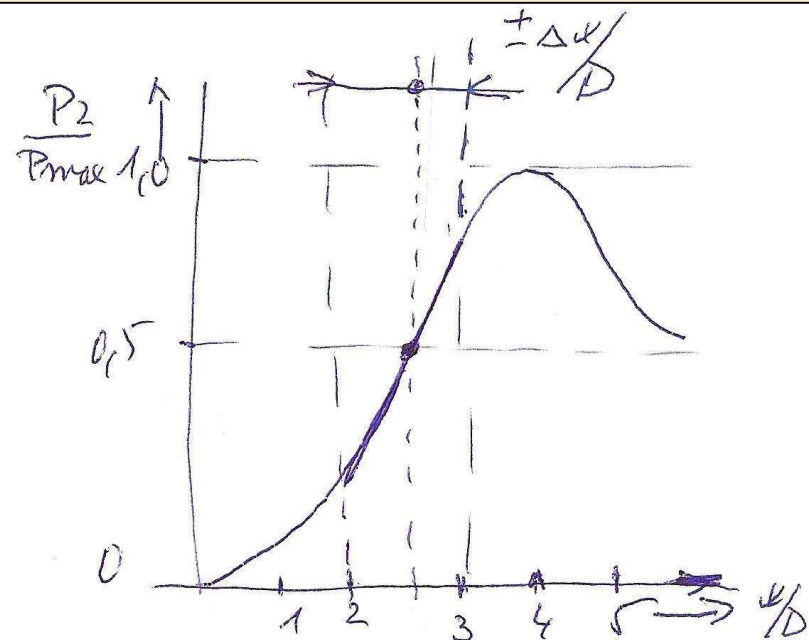
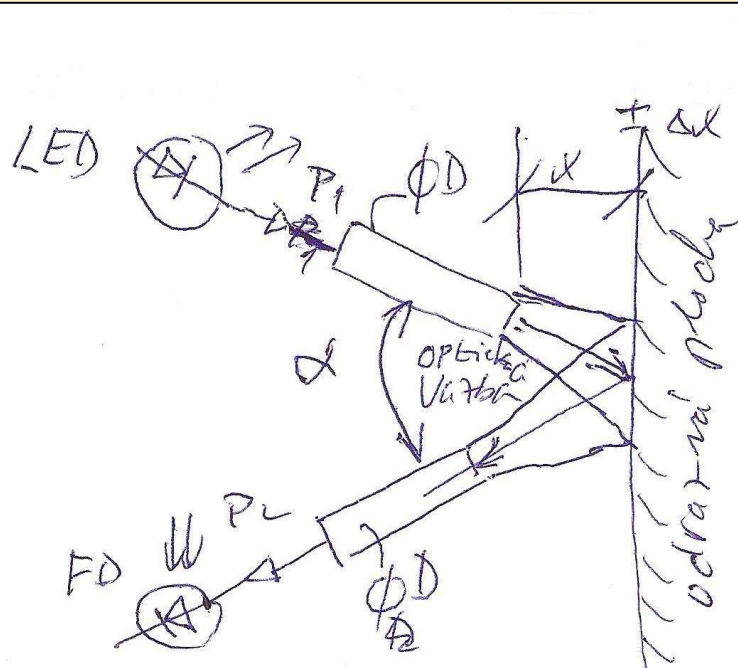
### 1) Měření posunu pomocí mikroohybů světlovodu





# Světlovodné snímače

## 2) Měření posunu pomocí odrazu záření

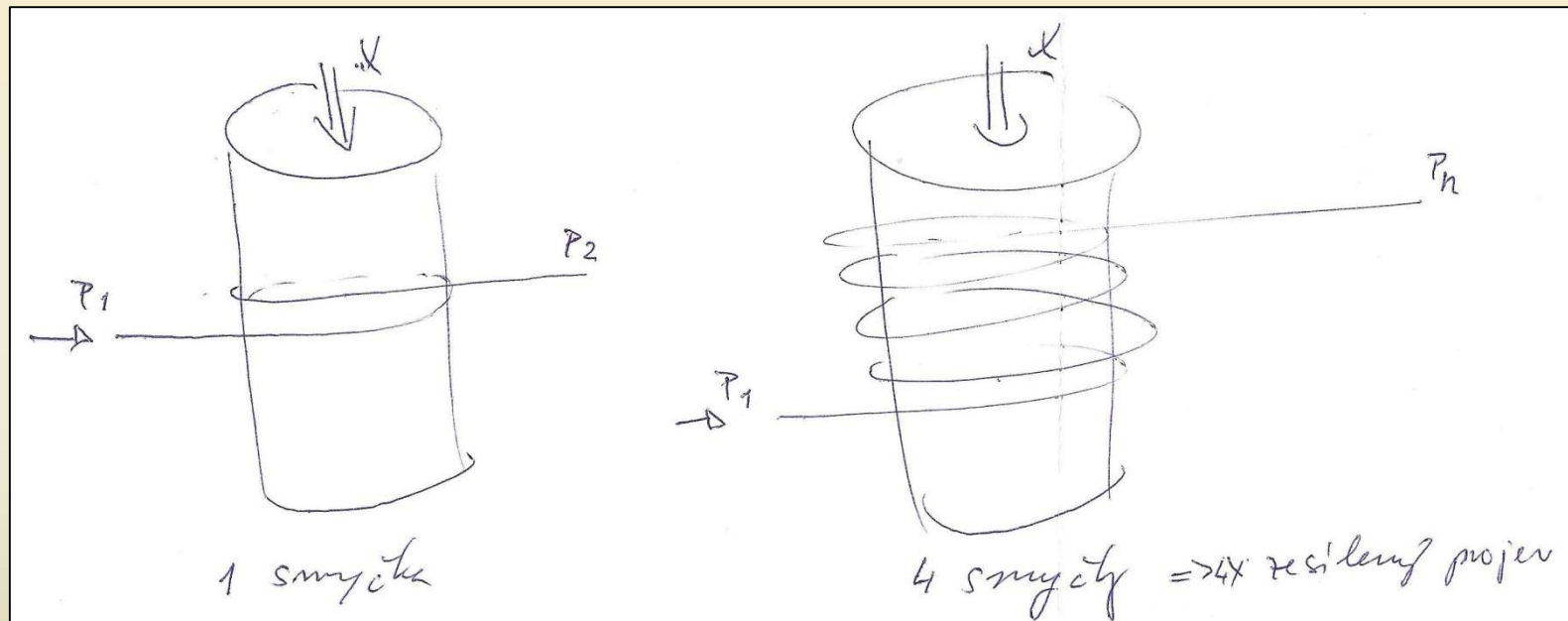


Vhodnou volbou úhlu  $\alpha$  lze dosáhnout požadované lineární charakteristiky a pracovní bod se volí ve středu lineární části.

# Světlovodné snímače

## Výhody světlovodných snímačů

1. Odolnost proti rušení elektromagnetickým polem.
2. Bezpečnost při použití ve výbušném prostředí.
3. Snadné zvýšení citlivosti oproti jiným snímačům.



## Nevýhody světlovodných snímačů

1. Obtížné spojování světelných vláken.

Základy automatizace v IG

**Využití snímání čárkového kódu  
u nivelačních přístrojů**

Jiří Pospíšil

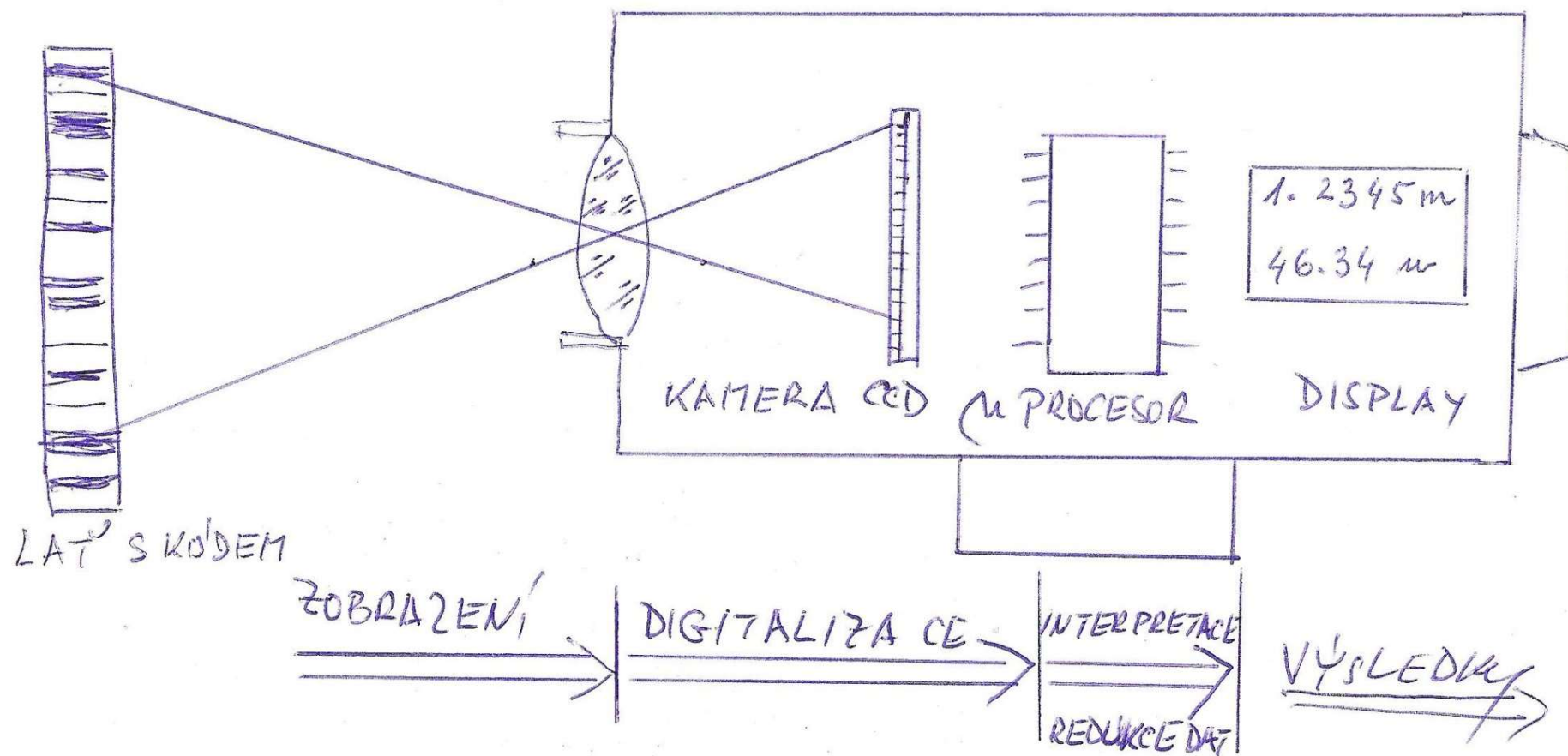
**Katedra speciální geodézie  
Fakulta stavební  
ČVUT v Praze**

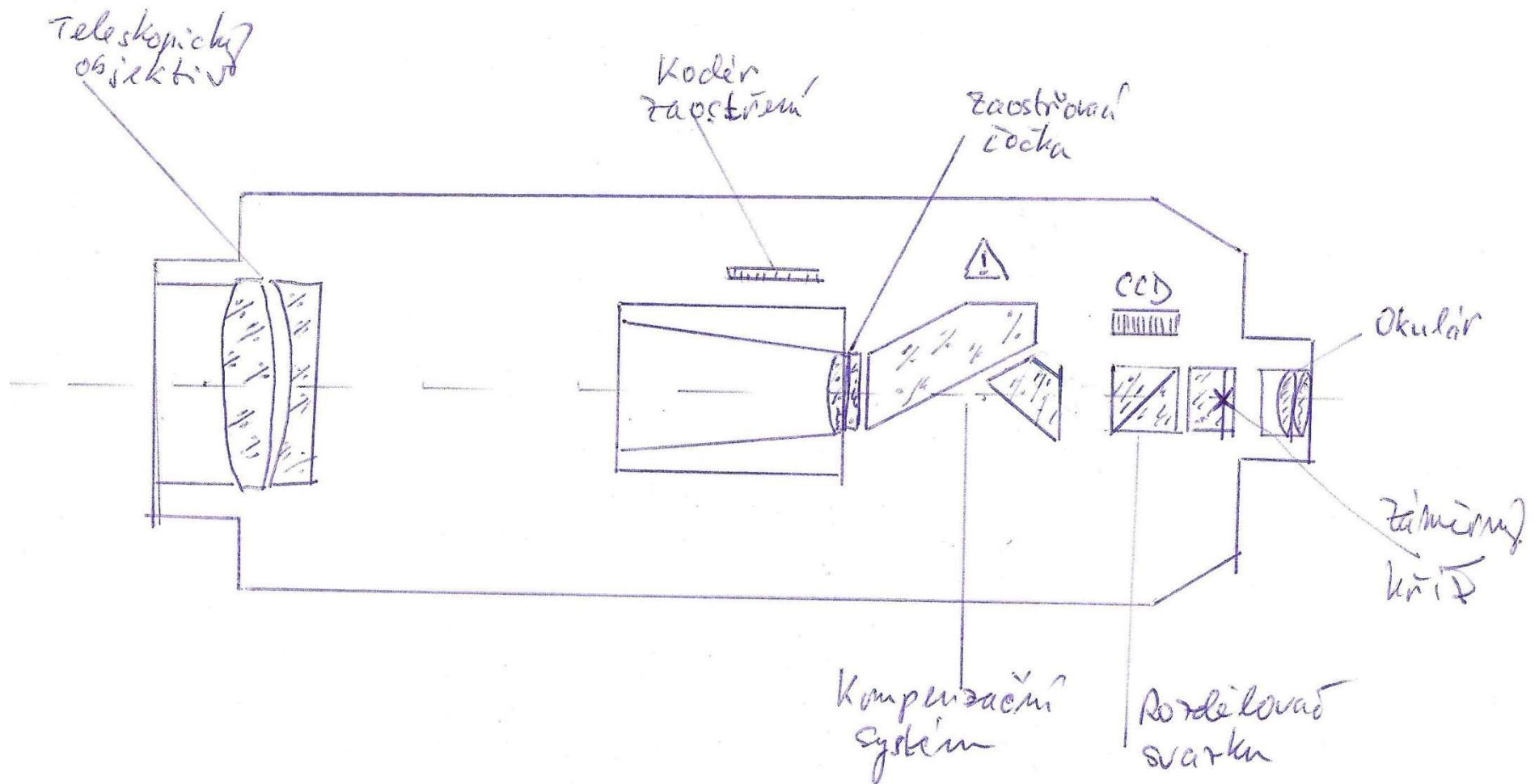
# Čárkový kód u niv. přístrojů

1. Konstrukce digitálního nivelačního přístroje:
  - a) Optika a mechanika
  - b) Elektronika
  - c) Nivelační lať
2. Průběh digitálního měření
3. Vyhodnocení a úprava signálu u digitálního NP
  - a) Postup vyhodnocení
  - b) Určení maximální korelace
    - Hrubá korelace
    - Jemná korelace
  - c) Úprava měřického signálu
    - Korekce měřického signálu
    - Zohlednění funkce citlivosti detektoru (CCD)
  - d) Laťový kód

# Čárkový kód u niv. přístrojů

- 4) Přesnost zacílení a zaostření
- 5) Vliv atmosférických turbulencí, vibrací a vliv přesnosti laťového dělení
- 6) Osvětlení
- 7) Zákryty lať
- 8) Měřické programy a způsob registrace měřených hodnot





# Čárkový kód u niv. přístrojů

## 1. Konstrukce digitálního nivelačního přístroje (NP)

### a) Optika a mechanika

- stejné optické a mechanické součásti jako optomechanické NP
- navíc – CCD snímač (kamera) – řádkový 256 pixelů
- mikroprocesorem
- displejem
- speciální latí s čárkovým kódem
- rozdělovačem svazku

Rozdělovač svazku rozkládá vstupující světlo na infračervené a viditelné světlo...

⇒ není snížen světelný výkon pro měřiče a je dostatečná intenzita pro řádkový CCD.

Aperturní úhel 2°...

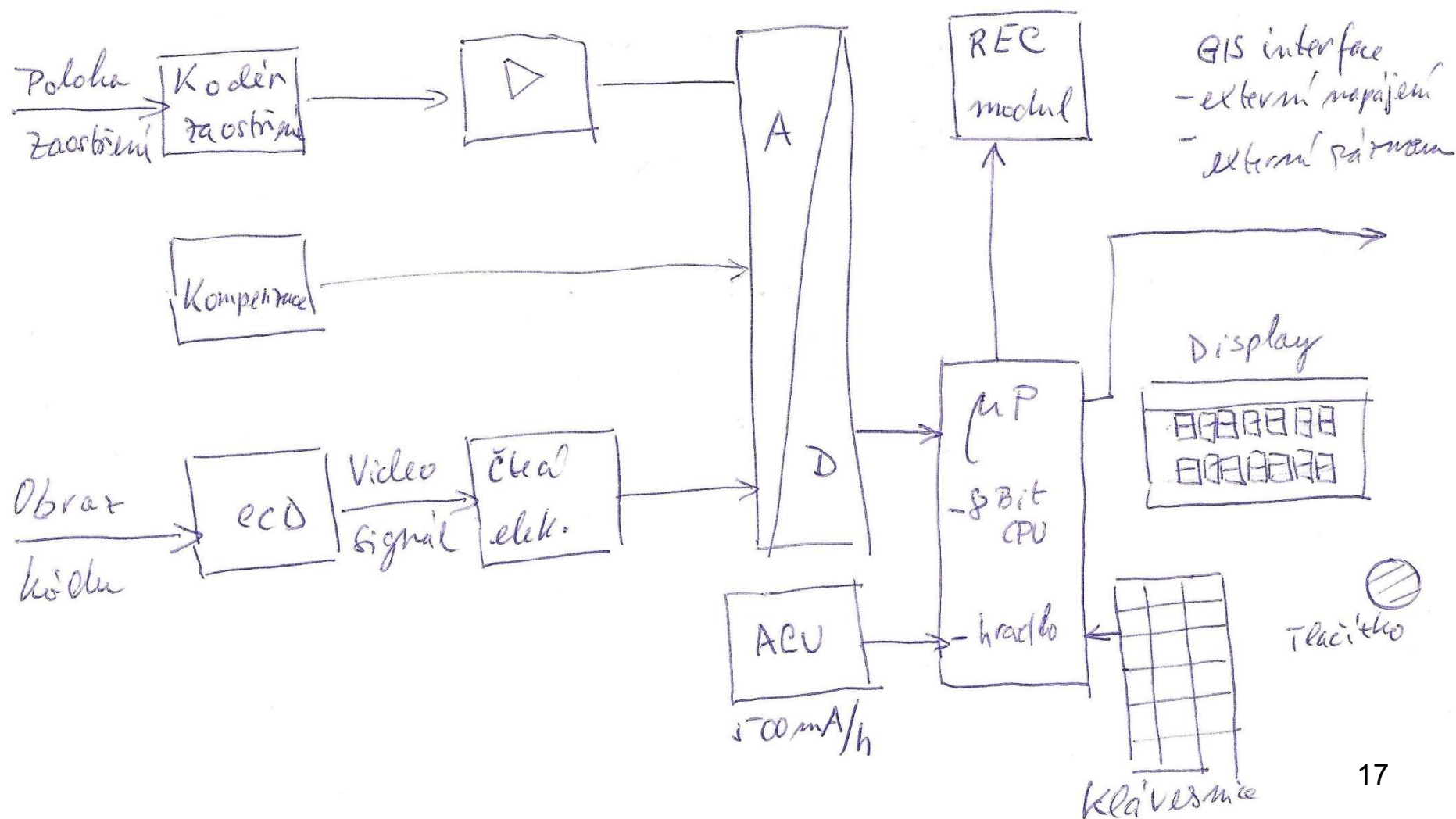
⇒ při nejkratší vzdálenosti latě od NP 1,80 m se na CCD zobrazí laťový výřez 70 mm, pro 100 m výřez 3,5 m



# Čárkový kód u niv. přístrojů

## b) Elektronika

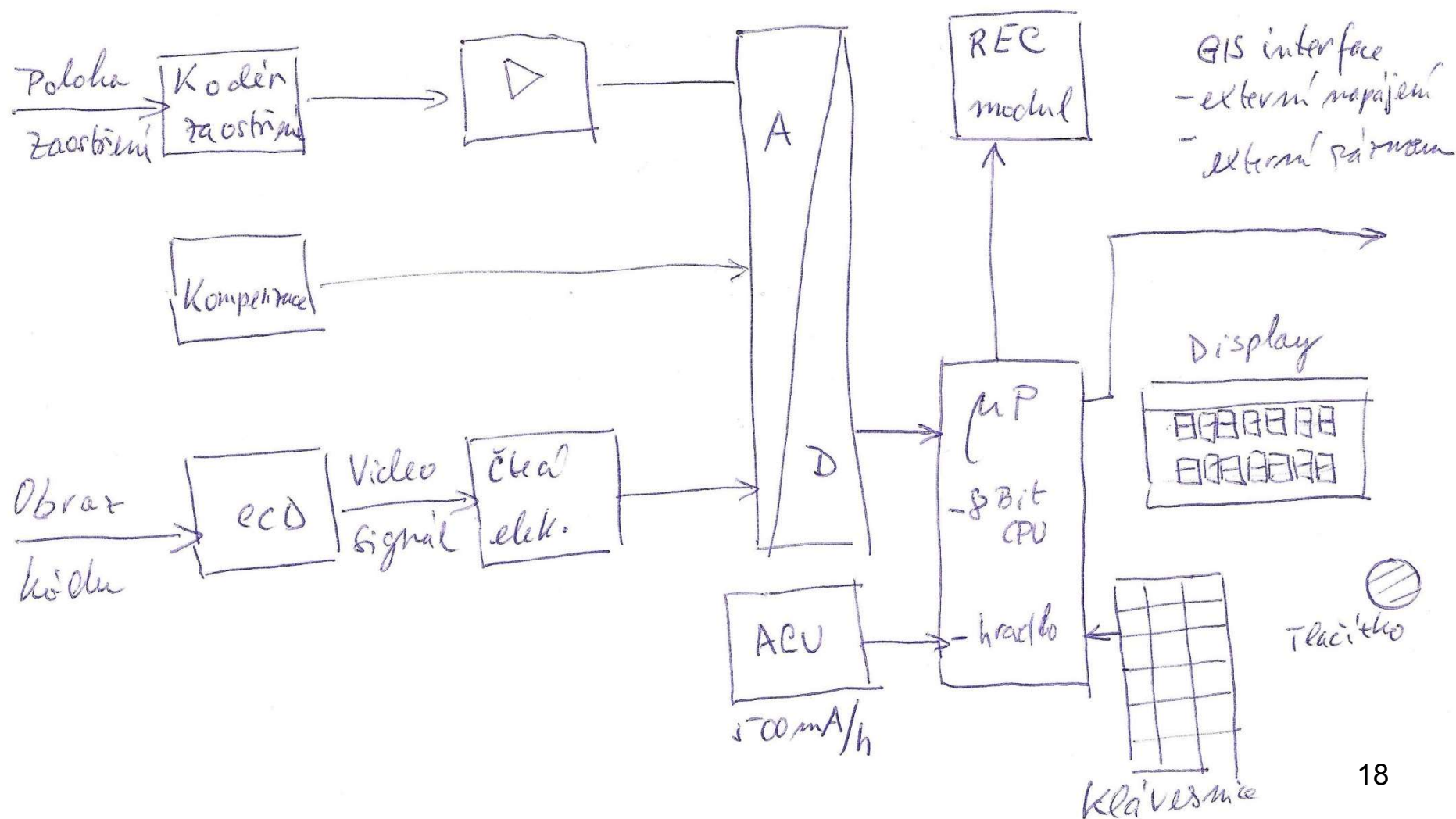
- je ozřejměna blokovým schématem



# Čárkový kód u niv. přístrojů

## b) Elektronika

- je ozřejměna blokovým schématem



# Čárkový kód u niv. přístrojů

- Chip mikroprocesoru je podporován hradlovým systémem.
  - Řádkový CCD snímač převádí přijatý kódovaný obraz do analogového obrazového signálu.
  - Video signál je zesílen a digitalizován.
- ⇒ měřicí signál s dynamikou 8 bitů odpovídajících 256 opt. hodnotám
- Hrubá vzdálenost  $d_f$  NP od latě se určí z polohy zaostřovací čočky, která se posouvá a cca 14 mm pro délkový rozsah 1,80 m až 100 m

$$d_f = \frac{k}{s} \quad (1)$$

$d_f$  – ohnisková vzdálenost

$k$  – optická konstanta

$s$  – poloha zaostřovací čočky

- Dvouřádkový maticový display.

# Čárkový kód u niv. přístrojů

- Ukládání číselných dat a příkazů přes blok kláves, nebo přes vstup/výstup pro periferní jednotky.
- Tlačítko měření.
- Naměřené hodnoty mohou být ukládány do REC modulu.

# Čárkový kód u niv. přístrojů

## c) Nivelační lat'

- Dříve se skládala z 3x 1,35 m dlouhých částí (lze sestavit latě 1.35 m, 2.70 m a 4.05 m – robustní plast se skelnými vlákny).
- Na jedné straně binární čárkový kód (nejmenší dílek 2.025 mm) pro el. čtení, na druhé normální dělení pro vizuální čtení.
- Koeficient tepelné roztažnosti  $< 10$  ppm.
- Přesnost latě dle DIN 18 703.
- Elektricky nevodivá.
- Citlivost krabicové libely 17'.

# Čárkový kód u niv. přístrojů

## 2) Průběh digitálního měření

- zacílení a zaostření ...stisk tlačítka měření
- integrace signálu ... $(0,004-2,0) \text{ s}$
- hrubá korelace ... $(0,3 - 1,0) \text{ s}$
- jemná korelace ... $(0,5 - 1,0) \text{ s}$
- zobrazení výsledků na displeji

Nejprve zacílíme a zaostříme na nivelační lať. Stisknutí tlačítka měření vyvolá určení polohy zaostřovací čočky a hranolu kompenzátoru. V závislosti na intenzitě signálu se určí integrační čas a potom se obraz změří a uloží do paměti. Hrubou korelací se přibližně určí výška cíle a měřítko zobrazení vycházející z polohy zaostřovací čočky. Při přesné korelaci se zjišťuje poloha a měřítko 8-bitovou korelací. Z přesné polohy kódu na CCD se určí výpočtem konečné čtení na lati a vzdálenost k lati pomocí kalibračních konstant. Všechny výsledky měření se podle programu a pracovního režimu dále zpracovávají, zobrazují na displeji a registrují.

# Čárkový kód u niv. přístrojů

## 2) Vyhodnocení a úprava signálu u digitálního NP

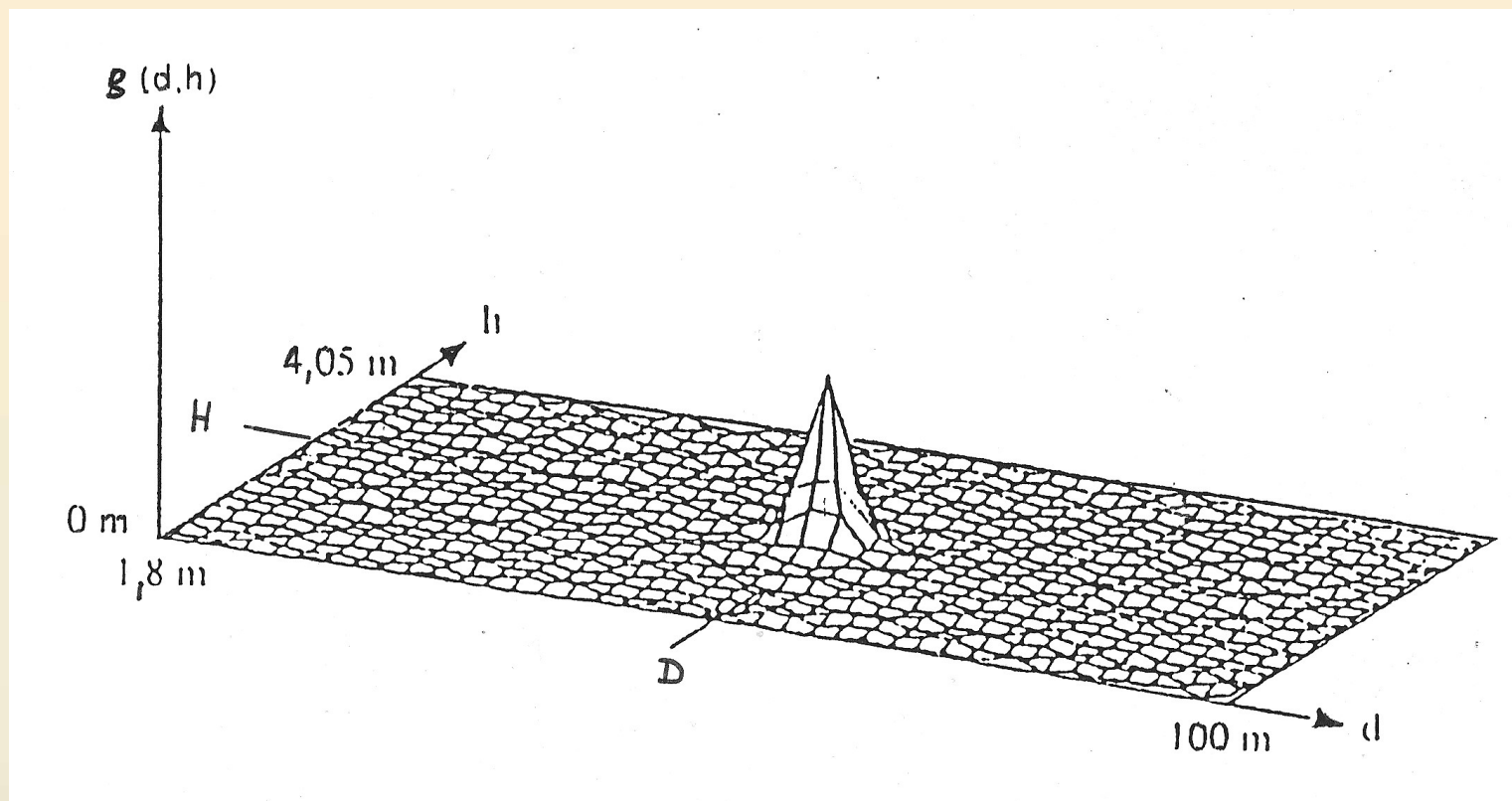
### a) Postup vyhodnocení

- vyhodnocení korelací
  - srovnání uloženého kódu latě se signálem z řádkov. snímače CCD
  - optimalizujeme dva parametry
    - výšku (posun kódového obrazu latě)
    - měřítko (funkce vzdálenosti přístroj – lať)
- dvourozměrná diskretní korelační funkce

$$\rho_{PQ}(d, h) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} Q_i(y) \cdot P_i(d, d-h) \quad (2)$$

kde  $\rho_{PQ}$  - korelační funkce mezi Q a P  
 $Q(y)$  - měřený signál  
 $P(d, y-h)$  - vypočtený referenční signál

# Čárkový kód u niv. přístrojů



Typický průběh korelační funkce v rámci rozsahu měření. Kde měřický signál optimálně koreluje s referenčním, je možno pozorovat výrazný vrchol v průběhu funkce. Ze souřadnic maxima se určí vzdálenost  $D$  a výška  $H$ .



# Čárkový kód u niv. přístrojů

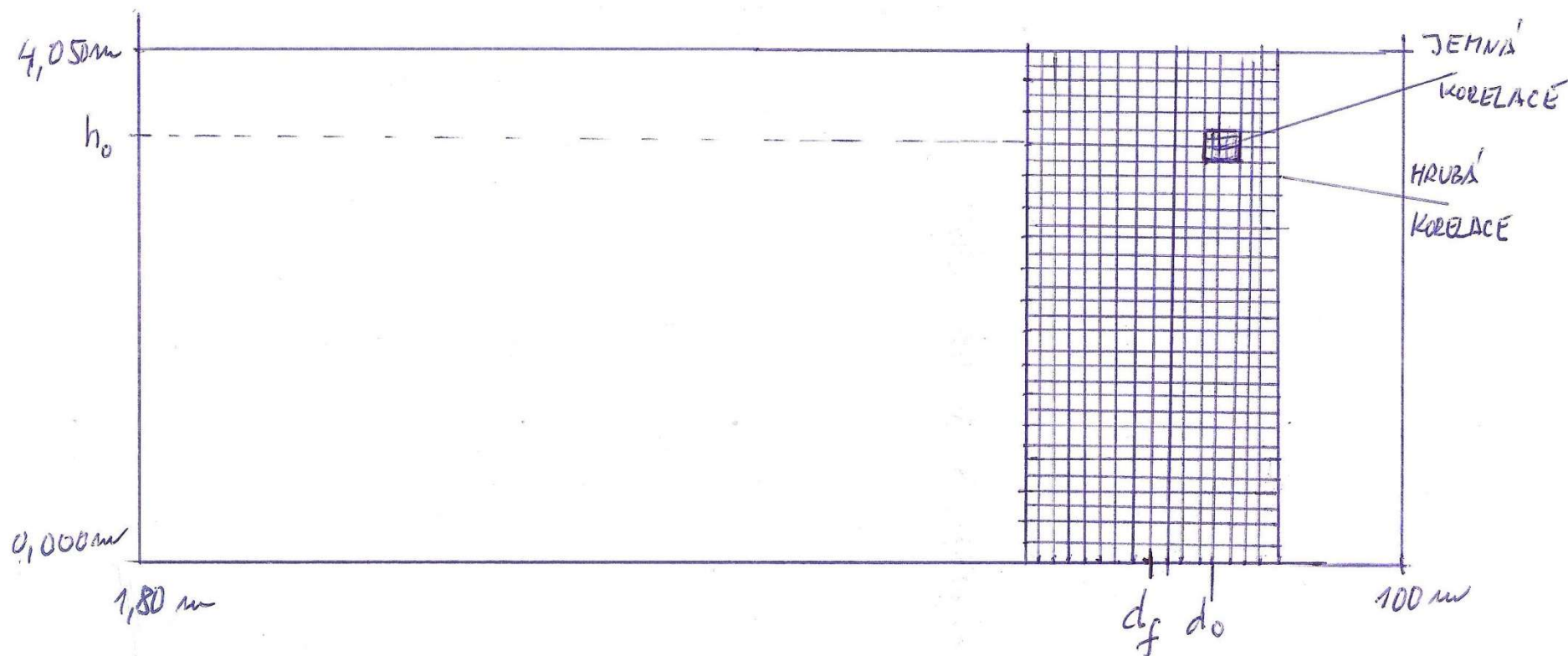
## b) Určení maximální korelace

Pro zjištění souřadnic maxima korelační funkce by se musel systematicky prohledávat celý možný rozsah měření (4,05 m x 98,2 m) a vypočítat statisíce korelačních koeficientů ze vztahu (2). Tyto operace zredukujeme tím, že se pracuje s rozdílnými metodami hrubé a jemné korelace.

- Hrubá korelace

Hledáme v délkově výškovém rastru přibližné souřadnice vrcholu korelace. Protože se první hrubá hodnota vzdálenosti odvodí již z pozice zaostřovací čočky  $d_f$ , lze oblast hledání zredukovat cca o 80 %.

Další redukce je dosaženo snížením dynamiky měřického signálu na 1 bit. Intenzitu signálu jednotlivých pixelů zredukujeme na 0 a 1.



Násobení můžeme tedy nahradit ekvivalentní funkcí (Exclusive NOT-OR):

$$S_{PQ}(D, H) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \bar{Q}_i(\bar{y}) \cdot \oplus \bar{P}_i(\bar{d}, \bar{y} - \bar{h}) \quad (3)$$

kde  $\rho_{PQ}(d, h)$  - 1 bitová korelační funkce  
 $Q$  - signál CCD  
 $P$  - referenční signál  
 $\oplus$  - EX NOR operace

| A | B | V |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

V každém uzlovém bodě rastru se počítá korelační koeficient. Na místě, který odpovídá referenčnímu signálu se objeví vrchol, který zřetelně vystupuje ze šumu ostatních korelačních koeficientů.

- Jemná korelace

Její pomocí máme určit relativní polohy obrazu latě k řádkovému CCD snímači a měřítku laťového kódu s nejvyšší přesností. V oblasti hledání jemné korelace se proto koreluje měřicí a referenční signál s celou 8-bitovou informací.

Měřicí a referenční signál vykazují rozdílné amplitudy a proto korelační funkci (2) normujeme.

# Čárkový kód u niv. přístrojů

$$S_{PQ}(d, h) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} Q_i P_i - \bar{Q} \bar{P}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} Q_i^2 - \bar{Q}^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} P_i^2 - \bar{P}^2}}$$

kde  $\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} Q_i$  ;  $\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} P_i$

Normováním navíc dosáhneme toho, že korelační koeficient leží v intervalu  $\langle -1,0 ; 1,0 \rangle$ . Toto nakonec umožňuje na závěr korelace kvalifikaci měřického výsledku.

# Čárkový kód u niv. přístrojů

## c) Úprava měřického signálu

### ➤ Korekce měřického signálu

- Analyzuje se nehomogenní intenzita světla a osvětlení laťového metru.
- Identifikují se ve výpočtu chybějící části kódu a jsou použity pro další korelaci.
- Zákryt laťového obrazu je možný do 30 %.
- Nemá vliv, na kterém místě zobrazení oblasti čárkového kódu se zakrytí nebo překážka nachází.

### ➤ Zohlednění funkce citlivosti detektoru

- Jednotlivé pixely snímače vykazují citlivost intenzity lichoběžníkového tvaru.
- Referenční signál vzniká složením (konvolucí) kódové funkce  $c(d, y-h)$  s funkcí citlivosti detektoru  $D(y)$ .
- Matematicky lze určit referenční signál ze vztahu:

kde  $p_i(d, h)$

$D_i(y)$

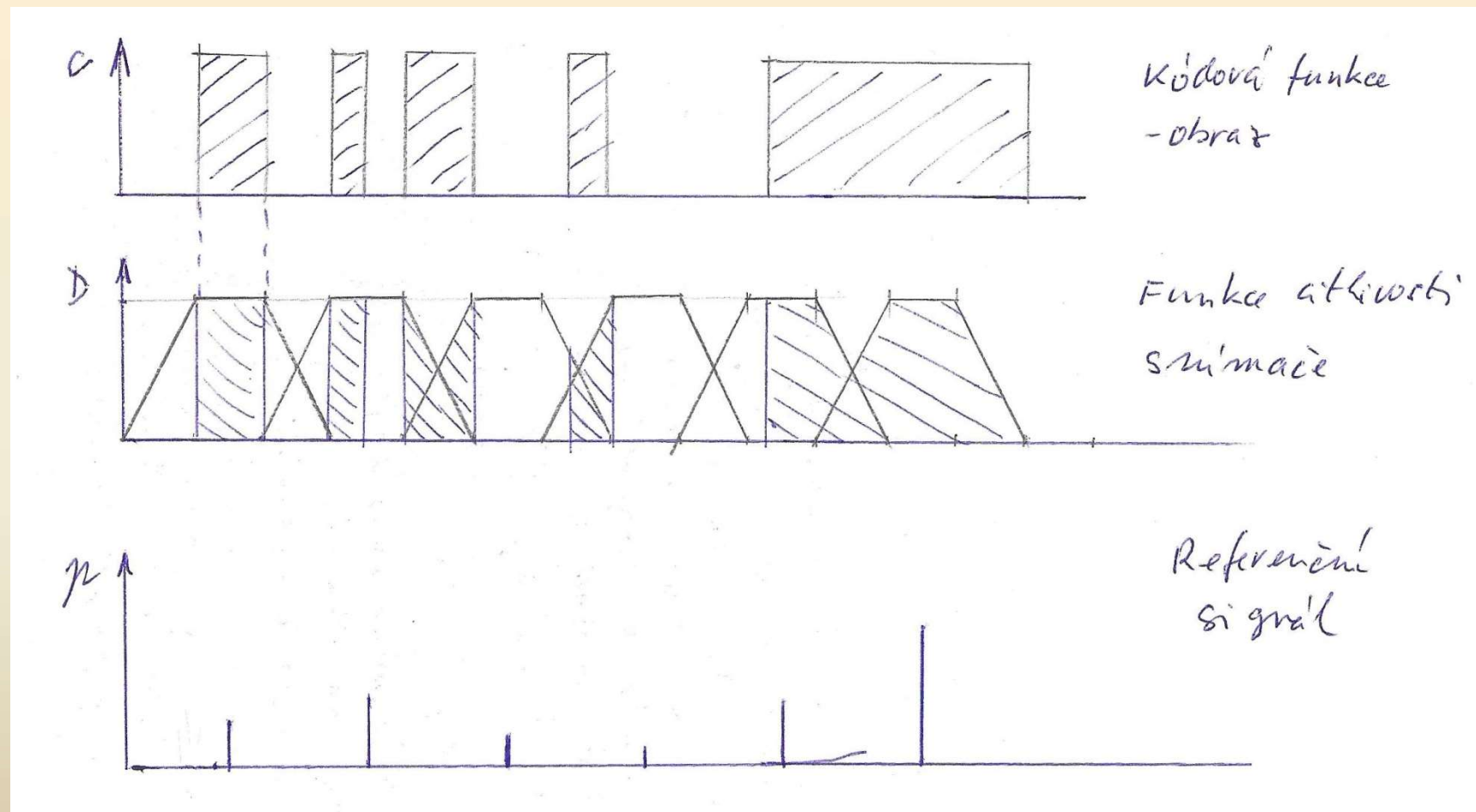
$c(d, y-h)$

$$p_i(d, h) = \int_{-\infty}^{+\infty} c(d, y-h) \cdot D_i(y) dy$$

$h$  – výška

$y$  – relativní pozice kódu ve vztahu k detektoru

$d$  – vzdálenost zobrazování



# Čárkový kód u niv. přístrojů

Obrazně řečeno: bílé elementy kódu jsou nejdříve zařazovány podle vzdálenosti zobrazování  $d$ , posouvány podle výšky cíle  $h$ , a potom roztrženy do jednotlivých elementů snímače.

## d) Laťový kód

Laťový kód je možné označit za binární, protože je vyznačen jen z černo – bílých elementů. Základní element je 2,025 mm dlouhý. Kompletní kód = 2000 elementů při délce latě 4050 mm.

Jako vzor kódu byl zvolen pseudostochastický kód. Navíc má tento kód specifické vlastnosti, které umožňují aplikovat korelační metodu v rozsahu vzdálenosti (1,8 - 100) m.

# Čárkový kód u niv. přístrojů

## 4) Přesnost zacílení a zaostření

Vliv nasměrování přístroje na nivelační lať a zaostření na přesnost výsledků měření je malý.

Z optických dat => při  $d=2$  m se zobrazí 0,3 mm ze šíře latě

$d=100$  m se zobrazí 14 mm ze šíře latě

Kód na lati je 50 mm široký => není nasměrování na lať kritické.

Ze stejného důvodu může být pozorována ještě i lať otočená o  $45^\circ$  kolem své svislé osy vzhledem k „základní“ poloze.

Přesnost výškového měření není významně závislá na zaostření. Dobré zaostření ovšem redukuje dobu potřebnou pro měření, protože pozice zaostřovací čočky definuje oblast hledání korelace.



# Čárkový kód u niv. přístrojů

## 5) Vliv atmosférických turbulencí, vibrací a přesnosti dělení laťového metru

I při digitální nivelaci se při atmosférické turbulenci mihotáním laťového obrazu kontrast silně sníží a poloha lokálně zkreslí.

Totéž platí analogicky pro vibrace kompenzátoru.

Protože však je snímán oproti klasické metodě celý výřez latě, je vliv turbulencí a vibrací oproti tradičním metodám podstatně menší.

Za stejného důvodu chyby v dělení latě jsou zprůměrovány.

# Čárkový kód u niv. přístrojů

## 6) Osvětlení

Nivelace se měří obvykle venku v přírodě, a proto není osvětlení a jím způsobené kolísání viditelnosti laťového kódu ovlivnitelné.

Změna intenzity osvětlení (sluneční svit, zatažená obloha, svítání, soumrak) musí být proto kompenzována proměnlivou dobou integrace času. Tato doba se pohybuje od 4 ms při dostatku světla až do 2 s při jeho nedostatku.

Obdobně dále zohledňuje měřický systém nehomogenní odraz světla od laťového kódu způsobený stínem.

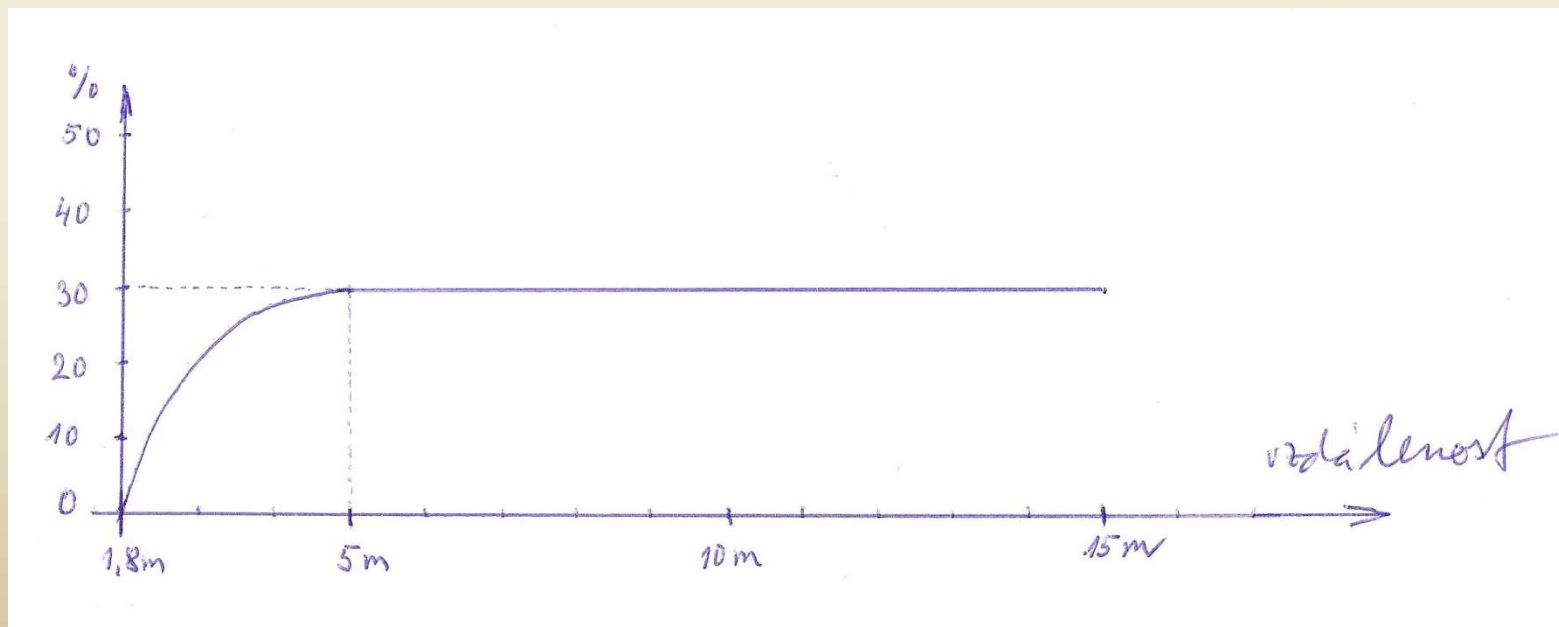
Pro korektní měření v místech s umělým osvětlením se požaduje, aby spektrální rozdělení zdroje světla odpovídalo dennímu světlu.

# Čárkový kód u niv. přístrojů

## 7) Zákryty latě

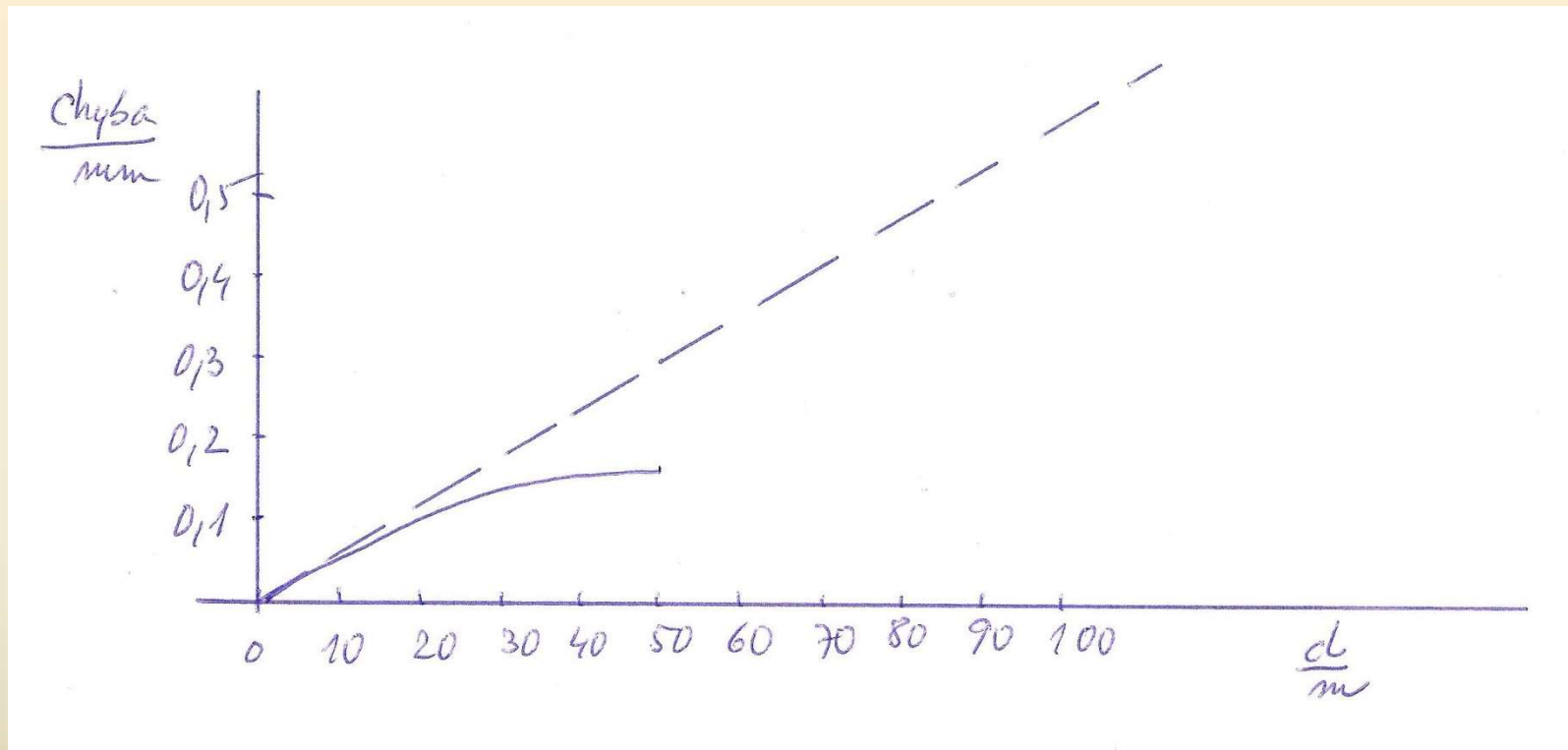
Částečné zakrytí kódu klade obzvláště vysoké požadavky na vyhodnocovací metodu, protože apriori nejsou k dispozici informace kde, kolik a jak je kód zakryt.

Vyhodnocovací software připouští možnost zakrytí kódu latě a je schopen zajistit spolehlivost měření při hranici zakrytí 30 %, přitom do 5 m by měl být k dispozici celý potřebný úsek na lati, tj. 70 mm.



# Čárkový kód u niv. přístrojů

- směrodatná odchylka jednoho čtení na lati:



# Čárkový kód u niv. přístrojů

## 8) Měřické programy a způsob registrace měř. hodnot

Klávesnice s 15 tlačítky a dvouřádkovým displejem. Volíme, zda se výsledky budou registrovat či nikoliv. Zvolíme-li registraci hodnot, pak lze vkládat individuální nebo automatické průběžné číslování bodů. Rovněž je možné vložit kódové bloky číslem a čtyřmi 8-místnými informacemi, jako je datum měření, teplota apod.

NA 2000 má zabudováno 5 programů:

1. jednotlivé měření – na displeji se zobrazí čtení na lati, resp. délka
2. začátek nivelace – vložení výšky výchozího bodu, při registraci i čísla výchozího bodu
3. pořadová nivelace – automaticky se počítají při záměře vzad výška horizontu přístroje a po záměře vpřed výška bodu, přičemž lze měřit i boční záměry, resp. vytyčovat výšky, kdy se po vložení vytyčované výšky na displeji objeví rozdíl (má být mínus je) a bod lze vytyčit (i opakovaně)

# Čárkový kód u niv. přístrojů

4. zkoušky a rektifikace – umožňuje opravu záměrné přímky, resp. rektifikaci záměrného kříže
5. vymazání dat z registračního modulu

Tlačítka klávesnice přístroje NA 2000:

- REP – zopakuje předchozí měření, program sám zaznamená, zda jde o záměru vzad, vpřed či boční a provede příslušný výpočet
- INV – umožňuje měřit na lať přiloženou spodní částí ke stropu
- INP – můžeme pomocí klávesnice vložit naměřené hodnoty, po měření na otočenou část latě (když nemůžeme uskutečnit elektronické čtení) a pokračovat v elektronickém měření
- SET – slouží k volbě testu baterie, jednotek (metry, stopy), způsobu měření (jednotlivé, opakované) počtu desetinných míst převýšení a výšek (3 nebo 4)

# Čárkový kód u niv. přístrojů

4. zkoušky a rektifikace – umožňuje opravu záměrné přímky, resp. rektifikaci záměrného kříže
5. vymazání dat z registračního modulu

Tlačítka klávesnice přístroje NA 2000:

- REP – zopakuje předchozí měření, program sám zaznamená, zda jde o záměru vzad, vpřed či boční a provede příslušný výpočet
- INV – umožňuje měřit na lať přiloženou spodní částí ke stropu
- INP – můžeme pomocí klávesnice vložit naměřené hodnoty, po měření na otočenou část latě (když nemůžeme uskutečnit elektronické čtení) a pokračovat v elektronickém měření
- SET – slouží k volbě testu baterie, jednotek (metry, stopy), způsobu měření (jednotlivé, opakované) počtu desetinných míst převýšení a výšek (3 nebo 4)

# Čárkový kód u niv. přístrojů

Při programu opakovaného měření se na displeji zobrazuje:

- počet měření
- směrodatná odchylka
- průměrná hodnota

Po ukončení se zaregistruje průměrná hodnota.

Naměřené hodnoty, tj. čtení na lati, vodorovná délka (délka záměry) a výška bodu, lze automaticky zaregistrovat do:

- registračního modulu REC
- připojené registrační jednotky GRE4
- přímo do počítače

Kapacita REC modulu je přibližně 1140 převýšení (tam a zpět) nebo 2000 bočních záměr.



# Čárkový kód u niv. přístrojů

Při registraci do REC modulu lze zpětně zobrazit naměřené hodnoty:

- postupným „listováním“ v paměti vpřed a vzad
- podle čísla bodu
- podle čísla kódového bloku

Bez ohledu na to, zda se měření registruje či nikoliv, lze jedním tlačítkem vždy po ukončení elektronického čtení vyvolat všechny údaje o právě uskutečněném měření:

- čtení na lati
- délku

resp. podle zvoleného programu:

- číslo bodu
- výšku horizontu přístroje
- po záměře vpřed i převýšení
- popřípadě i délku pořadu

# Čárkový kód u niv. přístrojů

Přístroj je napájen ze zásuvné baterie, která svou kapacitou vystačí zhruba na 1 den měření. Baterii lze dobíjet, při plně vybité baterii je cyklus dobití 14 hodin, popř. lze použít externích baterií s větší kapacitou.

Pomocí vyhodnocovacích programů a CAD programů lze vyhotovit plány, podélné profily a příčné řezy apod.

# Čárkový kód u niv. přístrojů

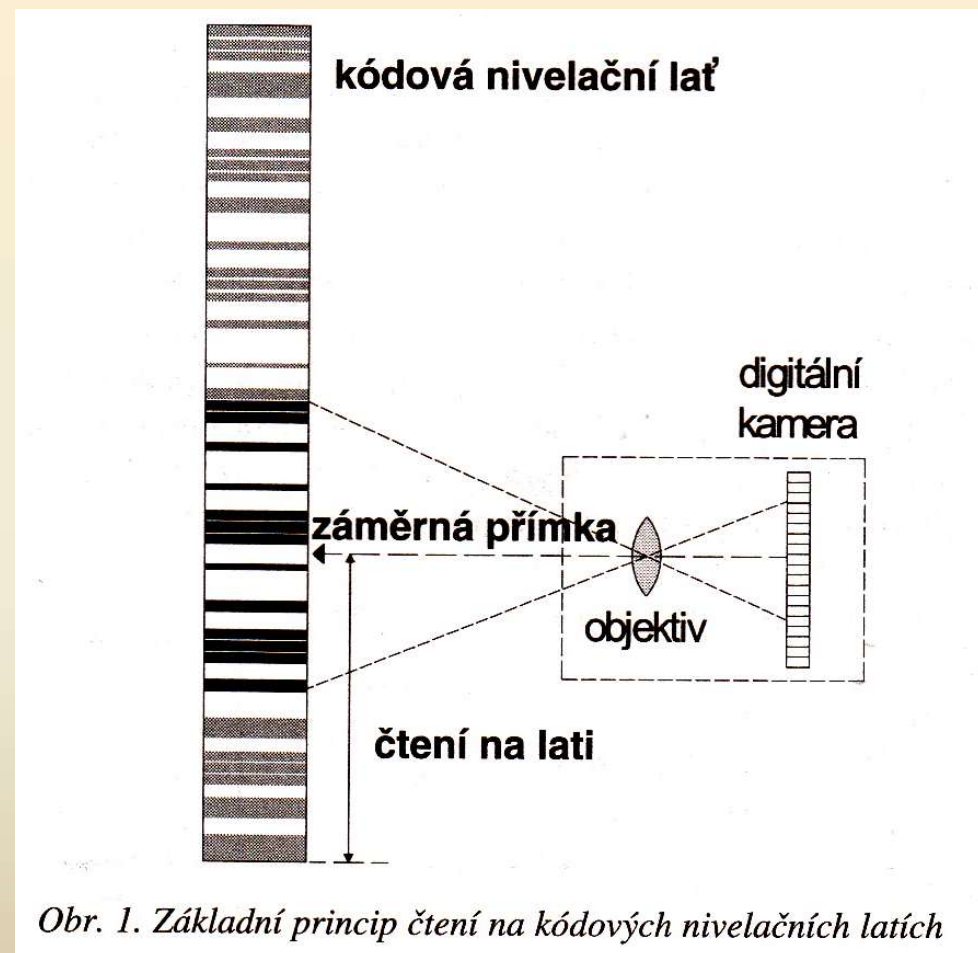
- srovnávací tabulka parametrů nivelačních přístrojů:

|                                                   | TOPCON<br>DL - 101 | TOPCON<br>DL - 102 | LEICA<br>NA - 3003 | LEICA<br>NA - 2002 | ZEISS<br>Dini 10 | ZEISS<br>Dini 20 | SOKKIA<br>SD 30                                 |
|---------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------------------------------------|
| Zvětšení                                          | 32 x               | 30 x               | 24 x               | 24 x               | 32 x             | 26 x             | 32 x                                            |
| Rozsahu<br>kompenzátoru                           | ±12'               | ±15'               | ±12'               | ±12'               | ±15'             | ±15'             | ±15'                                            |
| Nastavená přesnost<br>Kompenzátoru                | ± 0,3"             | ±0,5"              | ±0,4"              | ±0,8"              | ± 0,2"           | ± 0,5"           |                                                 |
| Doba měření                                       | 4 vt.              | 4 vt.              | 4 vt.              | 4 vt.              | 4 vt.            | 4 vt.            | < 3 vt.                                         |
| Přesnost ( digitální )<br>s invarovou latí        | 0,4mm              | 0,7mm              | 0,4 mm             | 0,9mm              | 0,3 mm           | 0,7 mm           |                                                 |
| s latí ze sklolaminátu                            | 0,8mm              | 1,0 mm             | 1,2 mm             | 1,5 mm             | 1,0 mm           | 1,3 mm           | 1,0 mm                                          |
| Přesnost ( optická )                              | 1,0 mm             | 1,5 mm             | 2,0 mm             | 2,0 mm             | 1,5 mm           | 2,0 mm           | 1,0 mm                                          |
| Vzdálenost (digitální )<br>s invarovou latí       | 2 - 60m            | 2 - 60 m           | 1,8 - 60m          | 1,8 - 60m          | 1,5 - 100m       | 1,5 - 100m       |                                                 |
| Vzdálenost (digitální )<br>s latí ze sklolaminátu | 2 - 100m           | 2 - 100m           | 1,8 - 100 m        | 1,8 - 100m         | 1,5 - 100m       | 1,5 - 100m       | 1,6 - 100m                                      |
| Délková přesnost<br>( digitální )                 | 10-50mm            | 10-50mm            | 3-5mm na<br>10m    | 3 - 5 mm na 10m    | 20 mm na<br>20 m | 25 mm na<br>20m  | 10 mm na 10m<br>0,1% D D=10-50m<br>0,2% D D>50m |

10 mm D ≤ 10m  
 0,1% D D = 10 - 50m  
 0,2% D D > 50m

## **Princip odečítání kódových latí**

Základní geometrický princip odečítání na kódových nivelačních latích je na *obr. 1* [7]. S použitím objektivu se na řádkový digitální obrazový snímač (obvykle senzor CCD) promítá obraz kódu na lati. Další zpracování takto získaného obrazu úzce souvisí s principem a realizací kódu a je odlišné podle jednotlivých výrobců. V zásadě se využívají tři základní principy vyhodnocení čárových kódů, a to pomocí korelace, geometrický způsob a způsob využívající rychlou Furierovu transformaci (FFT).



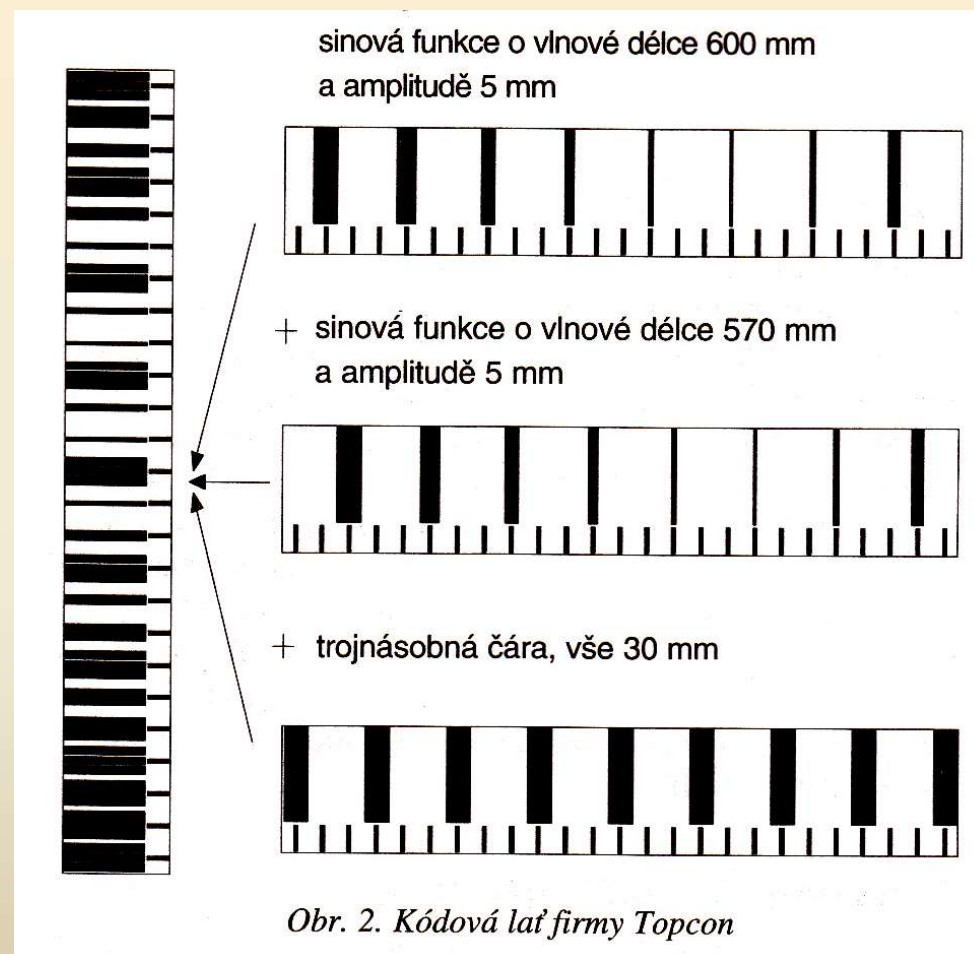


Příkladem využití korelace mohou být přístroje firmy Leica. Podle [8] je kód na lati vytvořen pro maximální délku 4,050 m. Skládá se z bílých (žlutých) a černých dílků o základní délce 2,025 mm. Posloupnost dílků byla vytvořena pseudonáhodně. Při zpracování je porovnáván kód sejmutý senzorem a kód uložený v přístroji a na základě tohoto porovnání jsou optimalizovány dva parametry, a to měřítko a čtení na lati (posun sejmutého obrazu latě proti obrazu latě uloženého v přístroji). Využívá se vzorce pro dvourozměrnou diskrétní korelační funkci

$$\rho_{PQ}(d, h) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{y=1}^{N-1} Q_i(y) \cdot P_i(d, y - h), \quad (1)$$

|                 |   |                                       |
|-----------------|---|---------------------------------------|
| kde $\rho_{PQ}$ | – | korelační funkce mezi $Q$ a $P$ ,     |
| $Q_i(y)$        | – | měřený signál,                        |
| $P_i(d, y - h)$ | – | vypočtený referenční signál,          |
| $y$             | – | relativní umístění kódu na detektoru, |
| $d$             | – | vzdálenost zobrazení,                 |
| $h$             | – | výška na lati,                        |
| $N$             | – | počet uzlových bodů výpočtu korelace. |

Firma Topcon využívá [7] u svých latí kód složený ze tří částí. První dvě jsou založeny na sinové funkci (2) a (3) generující tloušťku rysky na lati  $D_A$ ,  $D_B$ . Poslední je referenční a je realizována trojryskami v konstantním odstupu. Vznik kódu je ilustrován na *obr. 2*.



Obr. 2. Kódová lať firmy Topcon



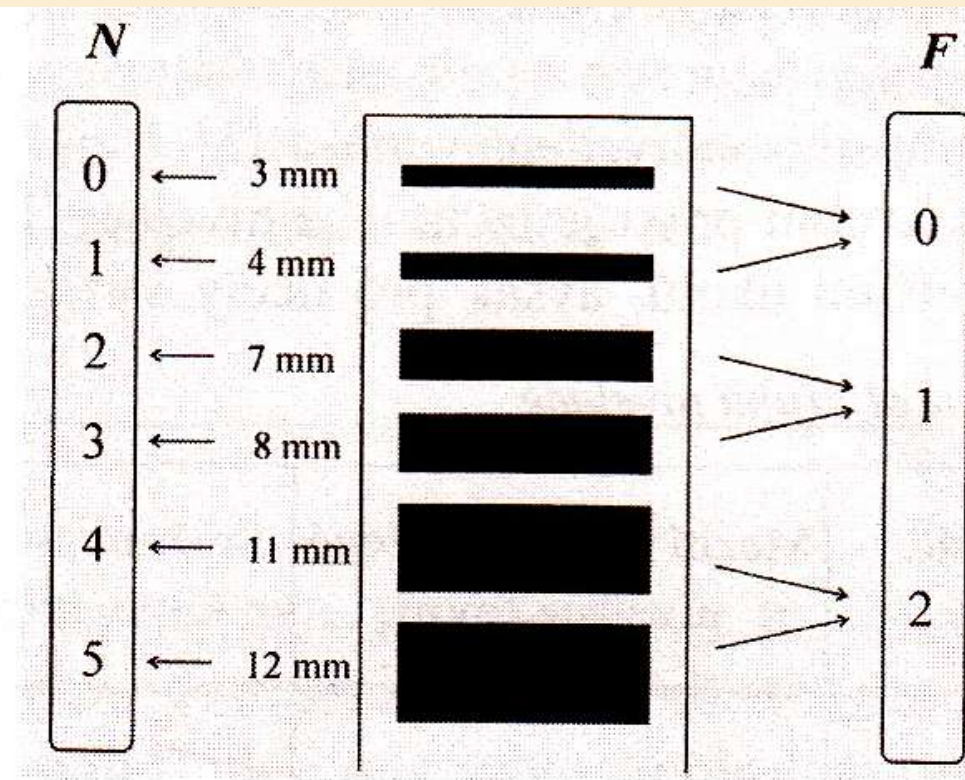
U novějších latí je dokonce využito tří sinových funkcí s vlnovými délkami 280 mm, 240 mm a 200 mm.

$$D_A \text{ [mm]} = 5 \cdot \left( 1 + \sin \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot x_A}{\lambda_A} - \frac{\pi}{2} \right) \right), \quad (2)$$

$$D_B \text{ [mm]} = 5 \cdot \left( 1 + \sin \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot x_B}{\lambda_B} - \frac{\pi}{2} \right) \right), \quad (3)$$

kde  $\lambda_A = 600 \text{ mm}$ ,  $x_A \text{ [mm]} = 30 \cdot i + 10$ ,  
 $\lambda_B = 570 \text{ mm}$ ,  $x_B \text{ [mm]} = 30 \cdot i + 20$ ,  $i = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ .

Proti tomu kódové latě firmy Sokkia [7] využívají dvojí kódování dané silou rysky a sledem jednotlivých rysek. Blíže je princip znázorněn na *obr. 3*. Samotné kódování je vytvořeno tzv. Random Bidirectional kódem.



*Obr. 3. Základní princip kódu latí firmy Sokkia*

Kódové latě firmy Zeiss [7] využívají také zajímavý systém, založený na základním kódování pruhů o šířce 20 mm (*obr. 4 – bod 1*), na kterém se dále zobrazuje binární fázový kód (*obr. 4 – bod 2*) a dodatková informace (*obr. 4 – bod 4*), pro cílení na krátké vzdálenosti (menší než 6 m). Dostupné

