

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra informatiky a výpočetní techniky

Bakalářská práce

Plzeň, 2012

Jan Moulis

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra informatiky a výpočetní techniky

Bakalářská práce

Vizualizace rovinnosti desek

Plzeň, 2012

Jan Moulis

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan MOULIS**
Osobní číslo: **A09B0359P**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informatika**
Název tématu: **Vizualizace rovinnosti desek**
Zadávací katedra: **Katedra informatiky a výpočetní techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Zjistěte, jaké typy vizualizace je možné využívat pro zobrazení nepravidelností rovinného povrchu s ohledem na aplikaci měření rovinnosti desek.
2. Metody vizualizace konzultujte s uživateli a vyberte nejvhodnější z nich.
3. Vybrané metody implementujte.
4. Implementované vizualizační metody otestujte na reálných i na umělých datech.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **min. 20 stran původního textu**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:
dodá vedoucí bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Lobaz**
Katedra informatiky a výpočetní techniky
Datum zadání bakalářské práce: **3. února 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. František Vávra, CSc.
děkan




Prof. Ing. Jiří Šafařík, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. února 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů.

V Plzni dne 8. 5. 2012

Jan Moulis

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi pomáhali a podporovali mě během vytváření této práce. Zejména pak chci poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Petru Lobazovi za cenné rady.

Abstract

In engineering we often need to create and machined planar surfaces of different size. For example long planar surface of type "ruler" or plane of type "board". For all of this types of surface, we need to find surface flatness. In these times the most used method for measurement flatness is by using sensitive electronic level.

The goal of this thesis is to find out, which kind of visualization techniques can be used to display a planar surface irregularities. This methods are consulted with users and only the most useful of them are implemented. Implemented methods are tested on real measured and artificial datas.

The program Libela, which is part of this thesis, was created because of need of new version of old program Libela, which still be used, but it is inadequate.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vizualizace.....	2
2.1	Co je to vizualizace	2
2.2	Proč je vizualizace důležitá	3
2.3	Použití vizualizace.....	4
3	Typy vizualizací pro zobrazení nepravidelností povrchu	5
3.1	Barevné sekvence	5
3.1.1	Barvy a jejich vnímání	5
3.1.2	Aplikace	7
3.2	Zobrazení mřížky s jednotlivými sklony na hranách	13
3.3	Zobrazení výšek uzlů	14
3.4	Zobrazení vrstevnic	15
3.4.1	Výpočet vrstevnic	16
3.5	Zobrazení výškové mapy	19
3.6	Zobrazení odchylek normál povrchu.....	21
3.7	3D zobrazení	23
3.7.1	Zobrazení sítě.....	23
3.7.2	Zobrazení povrchu	24
3.7.3	Anaglyf	25
3.8	Další možnosti vizualizační metod.....	28
4	Testování vizualizačních metod.....	30
4.1	Testování na umělých datech	30
4.1.1	Příklad 1	30
4.1.2	Příklad 2	32
4.1.3	Příklad 3 – „placka“	34

4.1.4	Příklad 3 – „nakloněná placka“	34
4.1.5	Příklad 4 – „prohnutý“, „vypouklý“ a kombinace obou	35
4.1.6	Příklad 5 – „sedlo“, „vlna“	37
4.2	Testování na reálných naměřených datech.....	39
4.2.1	Kontrolní deska	39
4.2.2	Porovnávací deska č. 2 a č. 3	39
5	Závěr	41
	Přehled zkratk.....	42
	Literatura.....	43
	Přílohy.....	45
	Příloha A – Měření a výpočet rovinnosti	46
	Příloha B – Uživatelská příručka programu Libela	60

1 Úvod

Ve strojírenství se často setkáváme s potřebou vyrábět a opracovávat rovinné plochy různých velikostí. Ať už se jedná o úzké a dlouhé roviny typu „pravítko“, nebo roviny typu „deska“, (dosedací plochy hlav motorů, dělicí roviny turbin nebo plochy loží obráběcích strojů) u všech těchto rovin je třeba zjistit měřením, zda opracovaná plocha je vyrobena v třídě přesnosti či toleranci, jakou předepsal konstruktér.

Pro kontrolu rovinnosti byly používány různé kontrolní metody, z nichž nejznámější jsou metody porovnávací (nelze stanovit odchylku rovinnosti v mm, např. kontrola pruhledem pomocí nožového pravítka, kontrola na barvu a průměrné sklo) a metody absolutní (lze stanovit odchylku rovinnosti v mm, např. číselníkové úchylkoměry, měřicí souřadnicové přístroje, elektronické vodováhy a laserové měření).

V současnosti se nejvíce používá měření pomocí citlivé elektronické vodováhy. Vodováha měří sklony příček na pomyslné síti, která rozděluje měřenou plochu. Naměřené výsledky se poté přepočítají pomocí programu a vizualizují se.

Detailní popis měření sklonů a matematické metody odvození z-ových souřadnic je popsán v příloze A.

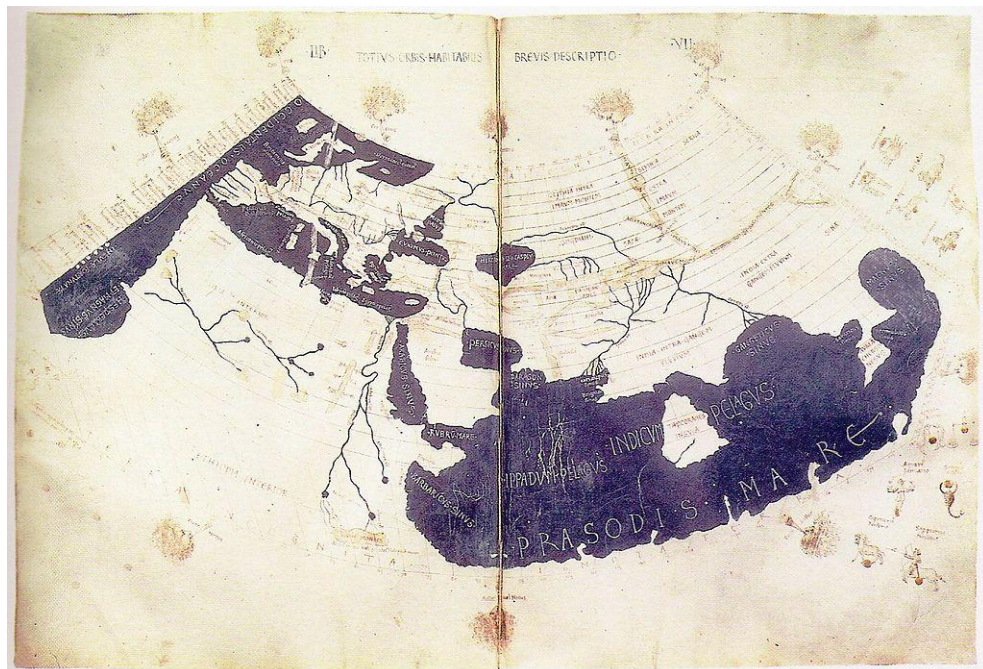
Cílem této bakalářské práce je zjistit, jaké typy vizualizace je možné využít pro zobrazení nepravidelností rovinného povrchu s ohledem na aplikaci měření rovinnosti desek. Tyto metody jsou dále konzultovány s uživateli a pro implementaci jsou vybrány pouze nejvhodnější z nich. Dále jsou implementované metody otestovány na poskytnutých skutečných naměřených datech a na datech umělých a výsledné vizualizace jsou zde zobrazeny.

Program, který je součástí této bakalářské práce, vznikl jako nová verze programu Libela, který byl do nynější doby používán pro výpočet a zobrazení nerovnosti desek, ale byl již zastaralý, a proto vznikl program nový. Starý program byl vytvořen IT pracovníkem ve firmě Škoda Těžké strojírenství, nyní Těžké strojírenství.

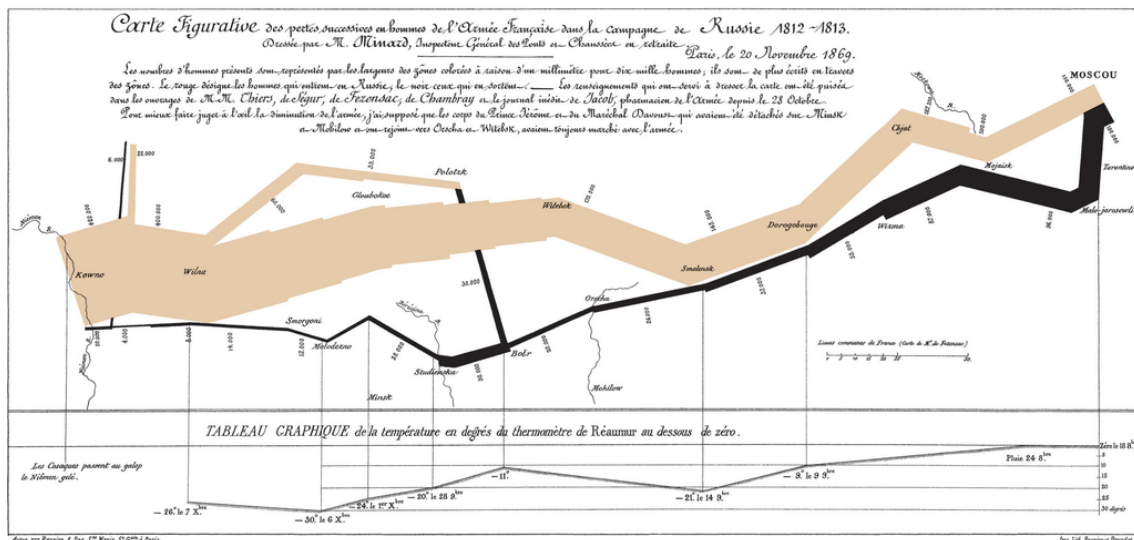
2 Vizualizace

2.1 Co je to vizualizace

[OWEN] Využití vizualizace pro zobrazení informací není žádným novým fenoménem. Byla používána v mapách, vědeckých výkresech a pro zobrazení dat po více než tisíc let. Příkladem může být Ptolemaiova mapa na obrázku 1, mapa Číny (1137 n. l.) nebo Minardova mapa na obrázku 2. Většina osvědčených konceptů navržených při tvorbě těchto obrázků se přenesla přímo do počítačové vizualizace.



Obrázek 1: Ptolemaiova mapa světa (asi 150 n. l., Geographia); zdroj obrázku [cs.wikipedia.org]



Obrázek 2: Minardova mapa Napoleonovy invaze do Ruska; zdroj obrázku [cs.wikipedia.org]

[WARD] Vizualizaci definujeme jako zobrazení informací za pomoci grafické reprezentace. Obrázky byly používány jako komunikační prostředek ještě před vznikem psaného jazyka. Jeden obrázek může obsahovat velké množství informací a může být vstřebán daleko rychleji než srovnatelný několikastránkový text. Je to dané tím, že lidské vnímání obrazového vjemu je prováděno paralelně, zatímco čtení psaného textu je sekvenční úloha. Rychlost čtení se tedy u každého z nás liší. Výhodou obrázků je také to, že nemusí být závislé na daném jazyku (např. skupina lidí, která nemluví stejným jazykem, dokáže pochopit graf nebo se orientovat v mapě).

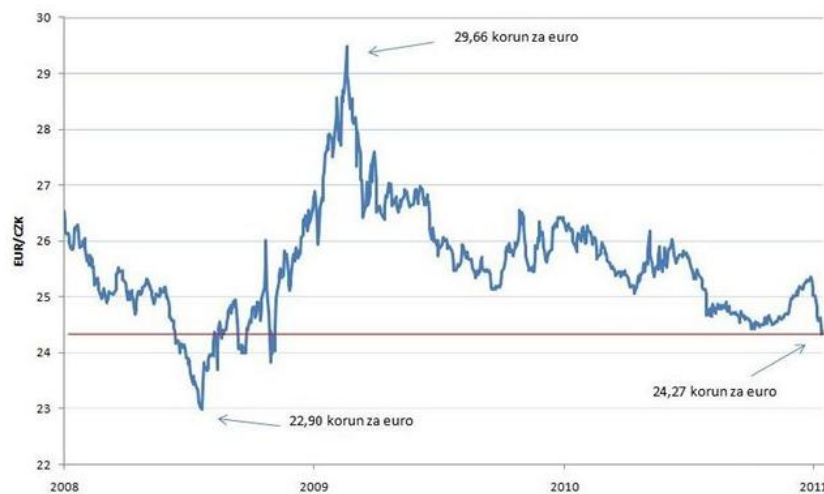
Vizualizace nám tedy přináší další možnost jak si předávat informace. A je jasné, že nám umožňuje daleko bohatší popis informací než je popis slovní.

2.2 Proč je vizualizace důležitá

[WARD] Existuje mnoho důvodů, proč je vizualizace důležitá, ale tím hlavním bude zřejmě to, že jsme bytosti, které jako hlavní smysl pro pochopení používají zrak.

Dalším důvodem může být fakt, že člověk není schopen pochopit velké množství dat, např. množinu souřadnic bodů. Daleko lépe si člověk uvědomí jejich význam, pokud je vidí přehledně zobrazené v souřadném systému. Stejný příklad z jiného oboru může být vývoj české koruny k euru, který je zobrazen na obrázku 3. Pokud by měl člověk k dispozici pouze tabulku s daty a k nim přiřazené kurzy, jen

těžko by si dokázal představit, jak vývoj probíhal v jednotlivých letech/měsících a kdy docházelo k největšímu oslabení nebo naopak posílení měny.



Obrázek 3: Vývoj české koruny k euro od začátku roku 2008; zdroj obrázku [finance.idnes.cz]

2.3 Použití vizualizace

[WARD] Je zajímavé se zamyslet nad tím, s kolika typy vizualizací se setkáváme v každodenním životě:

- Tabulka v novinách, která doplňuje informace probírané v článku
- Plán železniční a autobusové dopravy s časy k určení doby příjezdů a odjezdů
- Mapa regionu/země
- Předpověď počasí s vyobrazením srážkových nebo bouřkových mraků
- Graf činnosti akciových trhů, který by mohl naznačovat vzestup nebo pokles ekonomiky
- 3D rekonstrukce zraněného kolena ze skenu CT
- Manuál na složení kola s obrázkovým popisem, jak do sebe jednotlivé části pasují
- Dopravní značky upozorňující na zatáčku, spojování pruhů nebo křižovatku

Vizualizace se samozřejmě uplatňuje i v mnoha oborech:

- Analýza výsledků finančního a akciového trhu
- Design mechanických a strojírenských konstrukcí
- MRI rakoviny prsu pro diagnostiku a terapii

- Data o cestě komety a analýza jejího dalšího směru
- Analýza lidské populace a jejích návyků na kouření
- Simulace rozsáhlých projektů
- Analýza simulací reálných fyzikálních systémů
- Marketingové a reklamní plakáty

3 Typy vizualizací pro zobrazení nepravidelností povrchu

Nejdůležitějším aspektem pro zobrazení nepravidelností naměřeného povrchu je to, aby byl uživatel schopen z dané vizualizace určit odchylku rovinnosti (tj. rozdíl maximální a minimální výšky plochy) a zároveň dokázat posoudit tvar plochy. Zda například u kontrolních průměrných desek nedošlo k prošoupání v určitém místě apod.

3.1 Barevné sekvence

Abych mohl v dalších kapitolách psát o vizualizačních metodách, které mohou být použité pro zobrazení nerovnosti ploch, chtěl bych nejprve něco napsat o barevných sekvencích, které se ve vizualizaci hojně používají pro rozlišení výšek, sklonů atd.

3.1.1 Barvy a jejich vnímání

Barva je zrakový vjem, který vzniká podrážděním oční sítnice světlem různé vlnové délky. Existují dvě teorie vnímání barev, trichromatická teorie a teorie protikladných procesů (oponentního procesu).

[WARE] Trichromatická teorie říká, že čípkové buňky, které se nachází v oku, obsahují fotosenzitivní pigmenty, z nichž každý reaguje na jinou vlnovou délku světla. Čípkové buňky vnímají červenou, zelenou nebo modrou barvu. Ostatní barvy jsou pouze jejich kombinací.

Teorie protikladných procesů je založena na šesti elementárních barvách, které jsou uspořádány jako protilehlé páry okolo tří os: černá-bílá, červená-zelená a žlutá-modrá. Jak bylo napsáno výše, čípky v oku reagují na vlnovou délku světla. Čípky sensitivní na dlouhou (long) vlnovou délku, vyvolávají červenou barvu. Čípky sensitivní na střední (medium) vlnovou délku, vyvolávají zelenou barvu a nakonec čípky sensitivní na krátkou (short) vlnovou délku, vyvolávají modrou barvu. Černo-bílý přechod, který zaznamenává jas, je kombinací signálů ze všech tří čípků. Červeno-zelený přechod je založen na rozdílu mezi dlouhou a střední vlnovou délkou. Žluto-modrý přechod vychází z rozdílu mezi krátkou vlnovou délkou a součtem zbylých délek. V posledních letech se stala tato teorie základním kamenem moderní teorie barev.

Vnímání barev je velmi důležitý aspekt, což nás jistě nepřekvapí. Tato schopnost přináší člověku evoluční výhody. Barvy nám pomáhají například prolomit kamufláž. Některé věci dokážeme odlišit od svého okolí jen podle jejich barvy. Barvy nám také hodně napoví o vlastnostech nějakého předmětu. To je velmi důležité při posuzování, v jakém stavu je naše jídlo a zda je ještě požitelné nebo již zdraví škodlivé.

[GRIMP] Barvy se dělí na dva základní druhy:

- Pestré barvy (chromatické) – žlutá, oranžová, červená, modrá, zelená, hnědá apod.; dělí se na základní (primární), podvojně (sekundární) a potrojně (terciární)
- Neutrální barvy (achromatické) – bílá, černá a všechny odstíny šedé barvy; neutrální protože jejich přidáním do pestrých barev nezískáme novou barvu, ale pouze světlejší nebo tmavší odstín příslušné barvy; šedá barva vzniká smícháním bílé s černou

Pestré barvy dělíme podle toho, jak působí na pocity člověka, a to na teplé (žlutá, oranžová, červená, hnědá apod.) a studené (zelená, modrá, fialová a tyrkysová). Oranžová barva je nejteplejší, zatímco tyrkysová nejstudenější. Jejich působení závisí i na jejich okolí.

3.1.2 Aplikace

[WARE] Pseudozbarvování je technika pro reprezentování měnících se hodnot za použití barevných sekvencí. Pseudozbarvování je široce používáno v astronomických radiačních tabulkách, lékařském snímkování a v mnoha dalších vědeckých aplikacích.

Technika pseudozbarvování funguje tak, že pro každý bod, který chceme vizualizovat, se aplikuje barevná mapovací funkce, která převede hodnotu na barvu z barevné palety a aplikuje ji na daný bod.

Geografové používají dobře definované barevné sekvence pro zobrazení výšky nad mořem, viz obrázek 4 (nížiny jsou zbarveny zeleně, což vyvolává v pozorovateli pocit vegetace, poté škála pokračuje přes hnědou barvu k bílé, která značí vrcholky hor). Nejběžněji používané schéma fyziky je barevná sekvence, která aproximuje fyzické spektrum barev, viz obrázek 5. Přesto, že je tato barevná sekvence velmi používaná ve fyzice a dalších oborech a má jistě své opodstatnění, vnímání posloupnosti barev v tomto schématu není jednoznačné.



Obrázek 4: Barevná sekvence pro zobrazení výšky nad mořem



Obrázek 5: Barevná sekvence aproximující část fyzického spektra barev

Pokud dáte člověku řadu barevných kartiček v odstínech šedi a poprosíte jej, aby je uspořádal, bez problému je srovná v pořadí nejsvětější-nejtmavší nebo nejtmavší-nejsvětější. V případě, že témuž člověku dáte kartičky s červenou, zelenou, žlutou a modrou barvou a poprosíte ho opět o uspořádání barev, nebude výsledek vždy jednoznačný. Někdo možná seřadí kartičky abecedně podle názvů barev. Tento příklad ukazuje, že celé spektrum není vnímáno uspořádaně. Naproti tomu krátké úseky tohoto spektra ano. Například části od červené k žluté, žluté k zelené a zelené k modré.

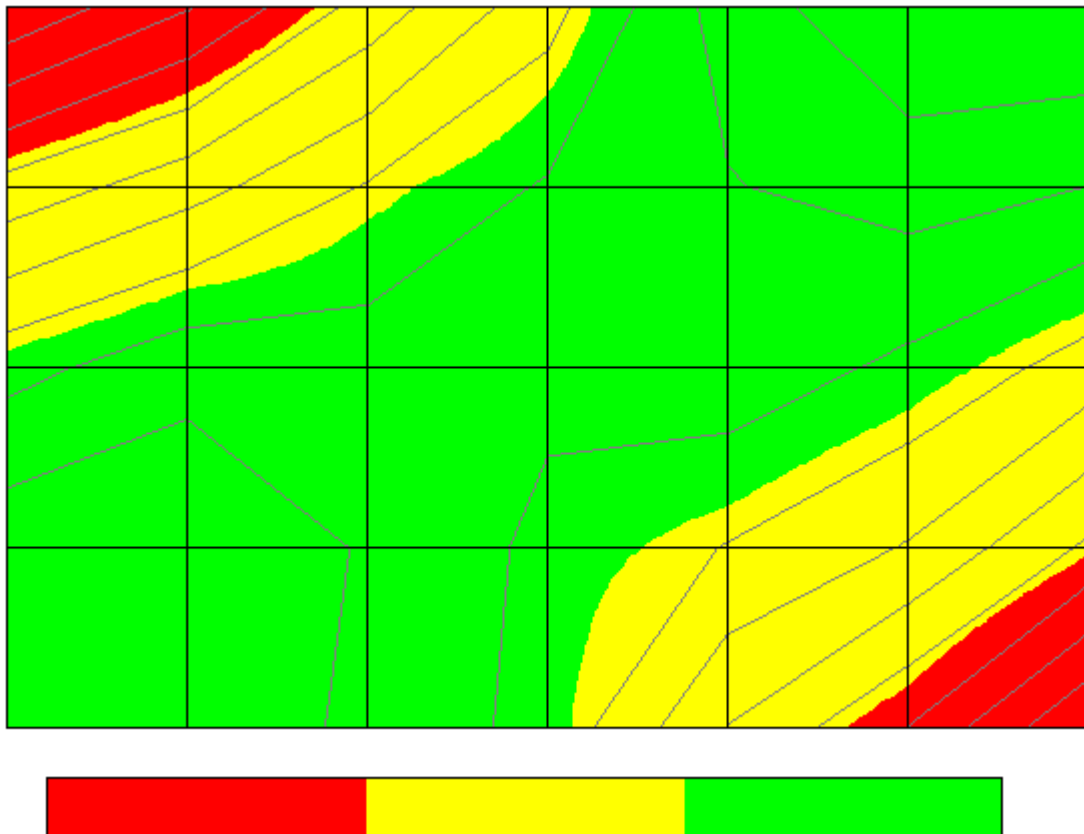
3.1.2.1 Nominální pseudobarevná sekvence

Nominální pseudobarevná sekvence byla stvořena k velmi rychlému rozeznávání jednotlivých oblastí, kde tyto oblasti na sobě nemusí být nijak závislé (není zde rozlišení, která oblast má vyšší hodnotu než jiná).

Jak je vidět na obrázku 6, jsou zde použité jen tři barvy pro rozlišení (červená, žlutá a zelená) tří oblastí. Je ovšem důležité přiřadit správnou barvu oblasti ke správnému popisku oblasti. Barvy oblastí by měly být zvoleny tak, aby byly vizuálně rozlišitelné jedna od druhé.

Prakticky může být tato barevná sekvence vytvořena na základě počtu barev, které v ní budou použité, popřípadě dodatečných symbolů nad jednotlivými barvami. Pokud budou dodatečné symboly černé nebo tmavé, pak by barvy v pozadí měly být světlé a naopak, aby dodávaly kontrast jasu. Pokud jsou dodatečné symboly barevné, tak by barevné oblasti měly mít nízkou saturaci.

Při vizualizaci rovinnosti tato metoda nemá příliš velké využití, ale jak již bylo napsáno výše, velice se hodí pro rozlišování oblastí a jejich identifikaci.



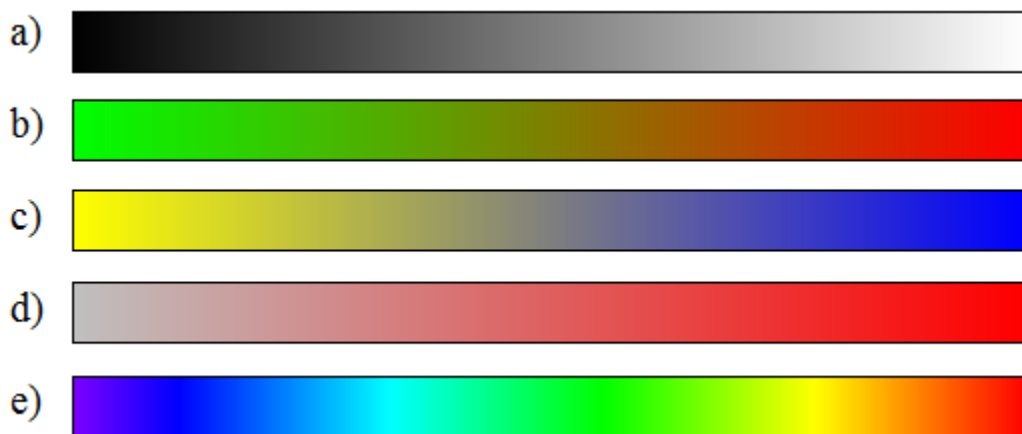
Obrázek 6: Nominální pseudobarevná sekvence; vizualizace výšky v toleranci 1 – červená, 2 – žlutá, 3 – zelená

3.1.2.2 Ordinální pseudobarevná sekvence

Ordinální pseudobarevná sekvence, je taková sekvence, která umožňuje rozlišování hodnot zobrazovaných dat podle barvy. Pokud hodnota B leží mezi hodnotami A a C, poté by mělo být barevné schéma ve stejném pořadí (tedy A B C).

Aby mohly být ordinální hodnoty správně a rychle interpretovány, je důležité, aby sekvence barev rostla stejnoměrně s ohledem na jeden nebo více barevných oponentních přechodů, viz 3.1.1 teorie protikladných procesů. Rovnoměrné uspořádání barev lze získat použitím sekvencí barev černá-bílá, zelená-červená nebo žlutá-modrá, nebo může být použita změna saturace. Pokud je důležité znázornit ve vizualizaci detaily, poté je nezbytné mít k dispozici takovou sekvenci, která se liší v závislosti na jasu kanálu (černá-bílá), kvůli schopnosti tohoto kanálu zobrazovat vysoké prostorové frekvence informací.

Občas může být výhodné použít aproximaci barevného spektra, protože nám rozděluje vizualizační data do barevných oblastí (červené, zelené, žluté a modré). Jestliže je toto spektrum patřičně označeno a z tohoto označení jasně vyplývá pořadí jednotlivých barev, poté je výsledná vizualizace pochopitelná. V opačném případě si pozorovatel nedokáže pořadí barev představit, jak již bylo napsáno v odstavci 3.1.2. Výše zmíněné barevné sekvence jsou ukázány na obrázku 7.



Obrázek 7: Ordinální pseudobarevné sekvence: a) černá-bílá; b) zelená-červená; c) žlutá-modrá; d) změna saturace; e) aproximace barevného spektra

3.1.2.3 Sekvence pro lidi trpící barvoslepostí

[BARVA] [BLIND] Barvoslepost (tzv. daltonismus) je neschopnost rozlišování barev. Většinou se nejedná o úplnou neschopnost vnímání barev. Lidé s touto poruchou nedokáží některé barvy rozeznat (vidí je „stejně“), zatímco jiné barvy od sebe rozlišují.

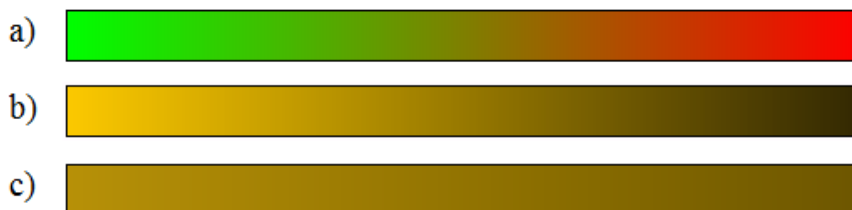
Nejčastější poruchou je neschopnost vidění červené, zelené nebo modrofialové barvy, méně častou je neschopnost vidět žlutou a modrou (obrázek 8), nejméně častou je totální barvoslepost. Příčin, proč lidé trpí barvoslepostí, je více, ale primárně je způsobena dědičnou mutací chromozomu X. Muži mají tento chromozom pouze jeden, naopak ženy mají dva. Proto touto poruchou trpí okolo 10% mužské populace a pouze 1% ženské populace.

Kvůli této poruše se některé barevné sekvence vyloženě nehodí pro vizualizaci, viz obrázek 9. Škály, které přecházejí z černé do bílé nebo ze žluté do modré (to zahrnuje i škály zelená-modrá a červená-modrá) budou pro osoby trpící barvoslepostí zřetelné. Na obrázku 10 jsou zobrazeny tyto sekvence.

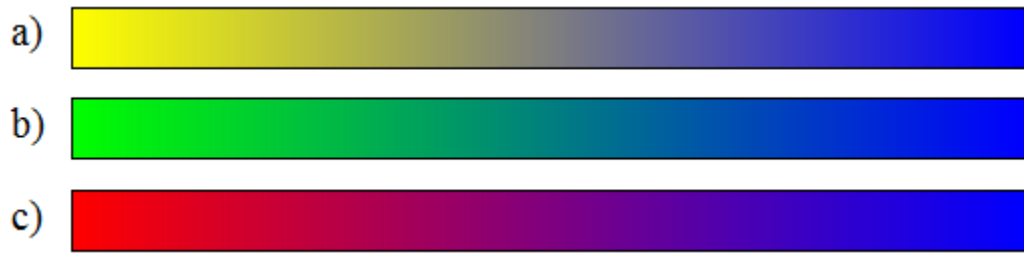
[PETRICH] Na následujících obrázcích 11, 12 a 13 jsou zobrazeny sekvence barev z obrázku 10, jak je vidí lidé trpící barvoslepostí. Obrázky byly vytvořeny v programu Photoshop pomocí filtrů vytvořených panem Lorenem Petrichem.



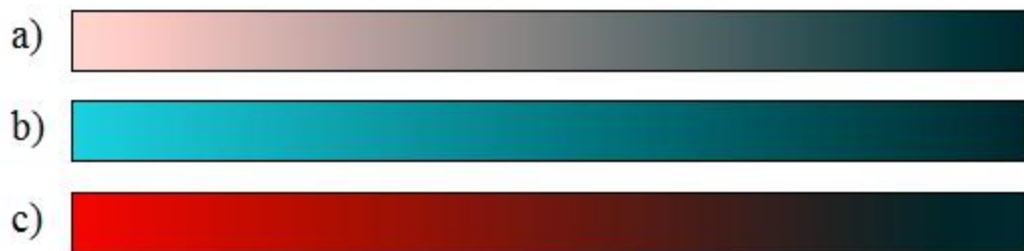
Obrázek 8: Příklad, jak vidí člověk trpící tritanopií (postížený nevnímá modrou barvu) citrón v modré misce



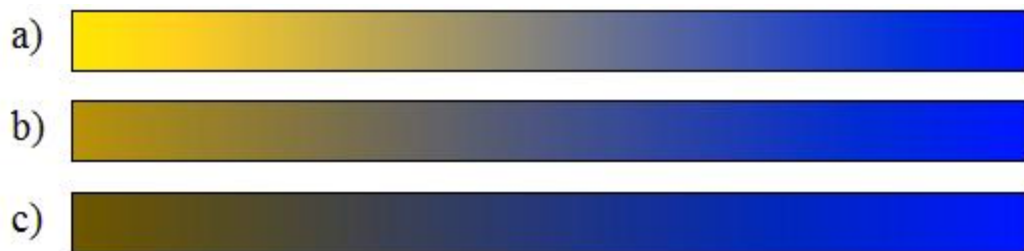
Obrázek 9: Ukázka špatné barevné sekvence (zeleno-červené) pro osoby trpící b) protanopií (postížený nevnímá červenou barvu), c) deuteranopií (postížený nevnímá zelenou barvu)



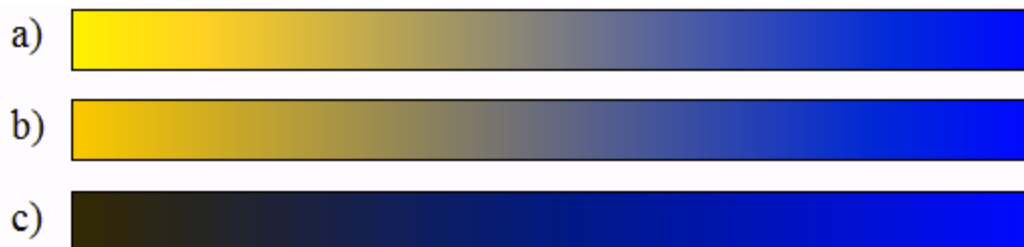
Obrázek 10: Barevné sekvence pro lidi trpící barvoslepostí: a) žlutá-modrá; b) zelená-modrá; c) červená-modrá



Obrázek 11: Vidění sekvencí člověkem trpícím tritanopií



Obrázek 12: Vidění sekvencí člověkem trpícím deuteranopií

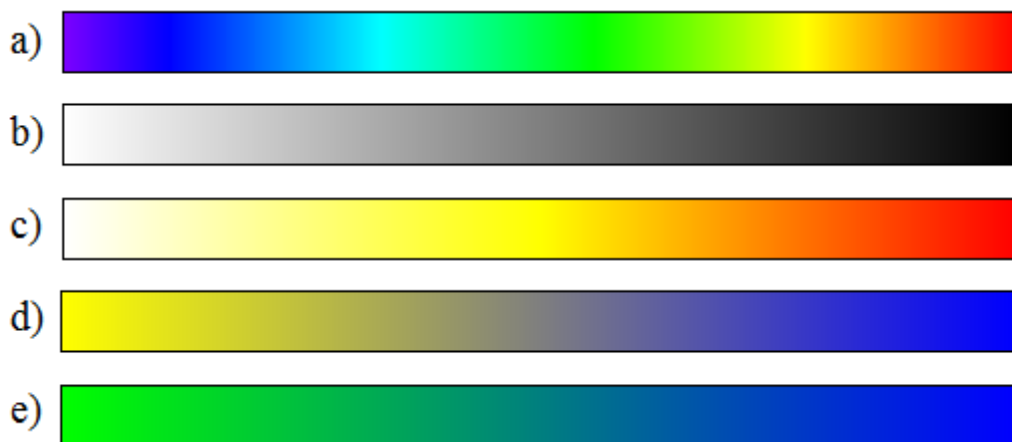


Obrázek 13: Vidění sekvencí člověkem trpícím protanopií

3.1.2.4 Sekvence použité v programu Libela

V programu je připraveno 8 barevných schémat, která uživatel může rozšířit o jedno definovatelné v konfiguračním souboru. Nejdůležitější sekvence jsou zobrazeny na obrázku 14.

Sekvence a) na obrázku 14 je použita, pokud nechceme odečítat přesnou výšku, ale pouze chceme rychle zjistit, kde se, v našem případě, na povrchu nacházejí nerovnosti. Sekvence b), tedy bílo-černá, má využití v případě, že nepotřebujeme vizualizovat jiné barvy (např. tisk), sekvence nám dovoluje rozlišovat 256 úrovní. Oproti této sekvenci nám sekvence c) dovoluje rozlišit 512 úrovní, což je dvakrát více. Výhodou sekvence d) je, že díky neutrálnímu středu, dokážeme z vizualizace rychle rozeznat, kde se nachází vrcholy nebo naopak prohlubně. Zároveň je společně se sekvencí e) zástupcem barevných palet pro osoby trpící barvoslepostí. Jednou z dalších sekvencí je černá-černá, kterou můžeme použít v případě, kdy nepotřebujeme mezi hodnotami rozlišovat barvou, protože jsou vyjádřeny například vrstevnicemi (opět případ tisku).

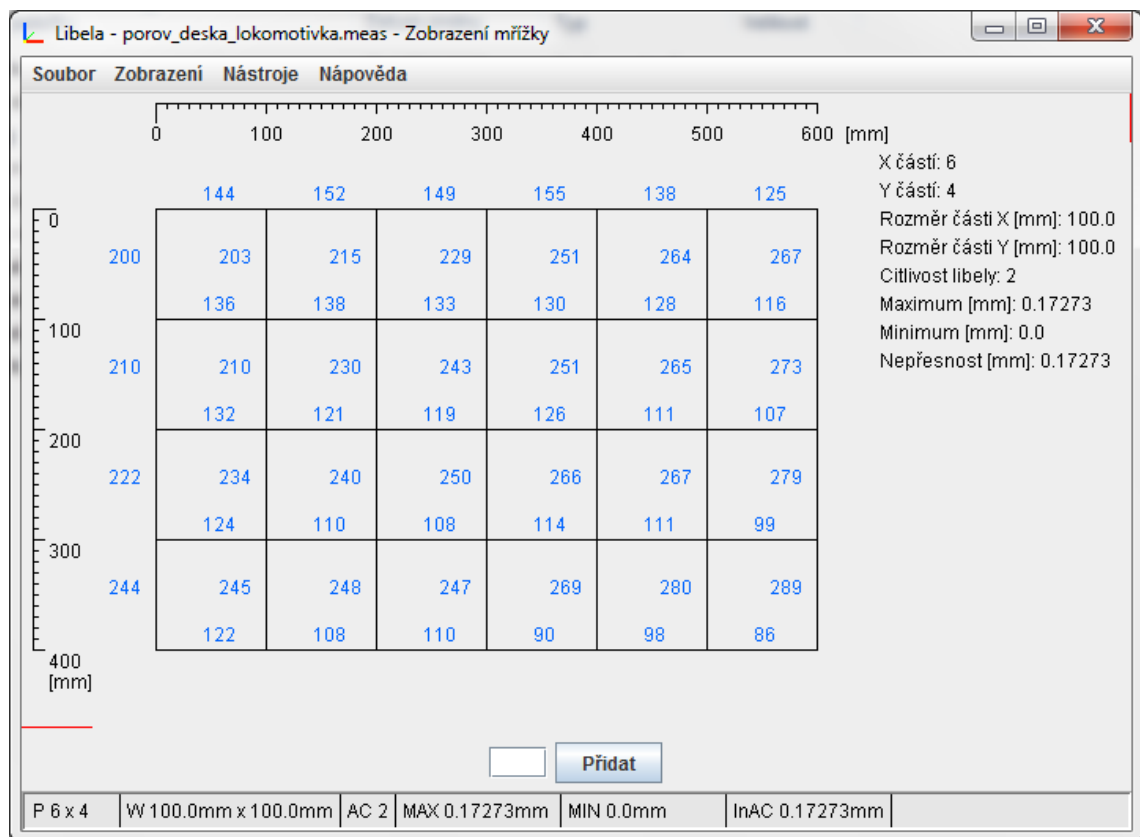


Obrázek 14: Barevná spektra v programu Libela: a) HSB paleta (barevné spektrum); b) bílá-žlutá-červená; c) žlutá-modrá; d) zelená-modrá; e) černá-bílá

Implementace těchto schémat v nové verzi programu Libela je řešena pomocí pole, ve kterém jsou uloženy všechny barvy škály. Pro výpočet jednotlivých odstínů je využito lineární interpolace, která je aplikovaná na všechny složky barvy (červenou, zelenou a modrou). Nejprve se do pole uloží hlavní barvy škály (např. uživatelem zadané). Poté se pole postupně prochází a do prázdných políček se dopočítávají nové barvy, z barev hlavních.

3.2 Zobrazení mřížky s jednotlivými sklony na hranách

Toto je základní vizualizace povrchu, kde je uživateli umožněno zadávat naměřené sklony na hranách pomyslné sítě měřené desky, viz obrázek 15. Jak je patrné z tohoto obrázku, zobrazení mřížky je doplněno o horizontální a vertikální pravítka, která uživateli dodávají představu o velikosti sítě. Dále je v pravé části okna stručný výpis o vlastnostech měřené desky společně s důležitými informacemi o minimu, maximu a nepřesnosti (rozdíl minima a maxima) desky. Všechny jednotky jsou udávány v mm (základní jednotka použitá v programu, stejně jako ve staré verzi).



Obrázek 15: Zobrazení mřížky v programu Libela

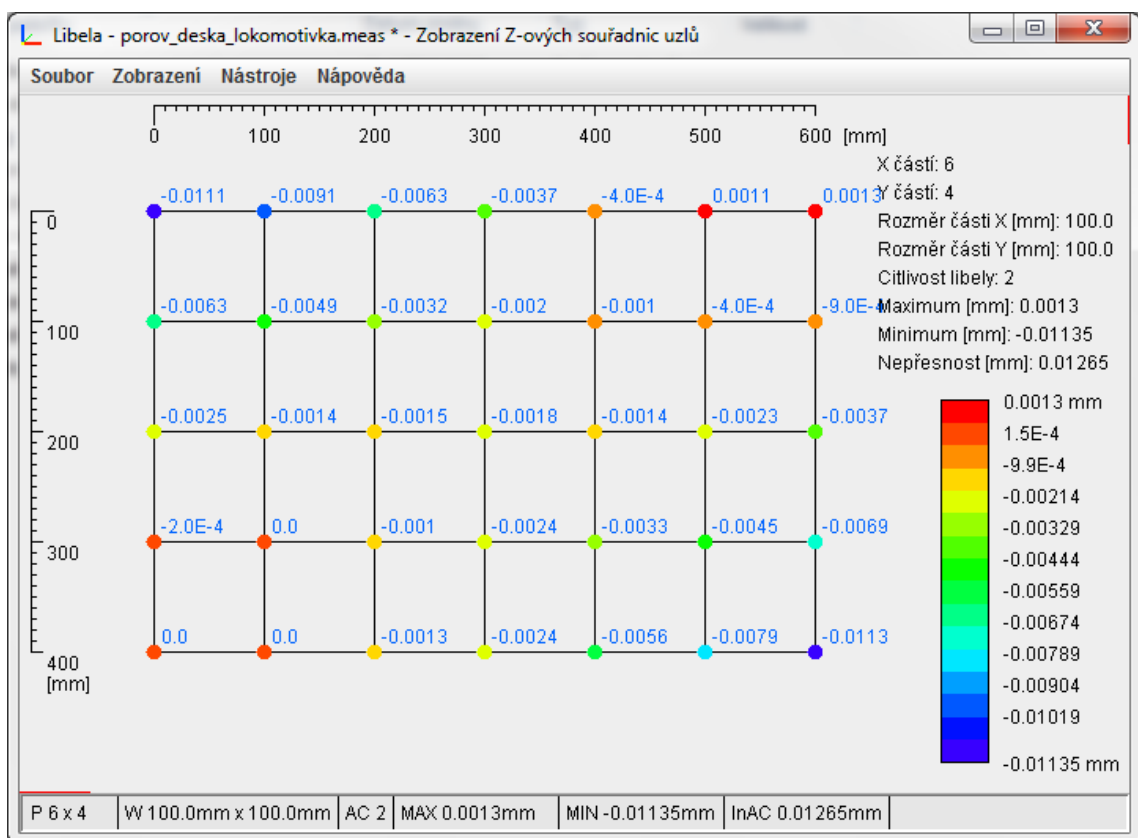
Použití tohoto zobrazení je tedy víceméně omezeno jen na případy vytváření nové desky nebo úpravy sklonů. Pro to aby si uživatel dokázal dokonale představit, jak je plocha tvarovaná, pouze sklony na hranách sítě nestačí. Navíc je v těchto sklonech zanesena chyba měření.

Jednotlivé sklony na hranách jsou zapsána jako třiciferná čísla z rozsahu -999 až 999, což odpovídá rozsahu a zobrazení jaké používá měřicí libela. Pro určení přesného

sklonu v mm/m je nutné v případě citlivosti libely I (1) vydělit sklon 100 a v případě citlivosti II (2) vydělit hodnotu sklonu 1000. Tyto operace provádí při výpočtu program sám, uživatel tedy nemusí hodnoty z libely převádět na reálné jednotky.

3.3 Zobrazení výšek uzlů

Zobrazení výšek uzlů je v programu použito proto, aby byla uživateli umožněna rychlá kontrola nepravidelností povrchu společně s výpisem přesných výšek v jednotlivých uzlech pomyslné sítě, jak je ukázáno na obrázku 16.



Obrázek 16: Zobrazení Z-ových výšek uzlů sítě v programu Libela

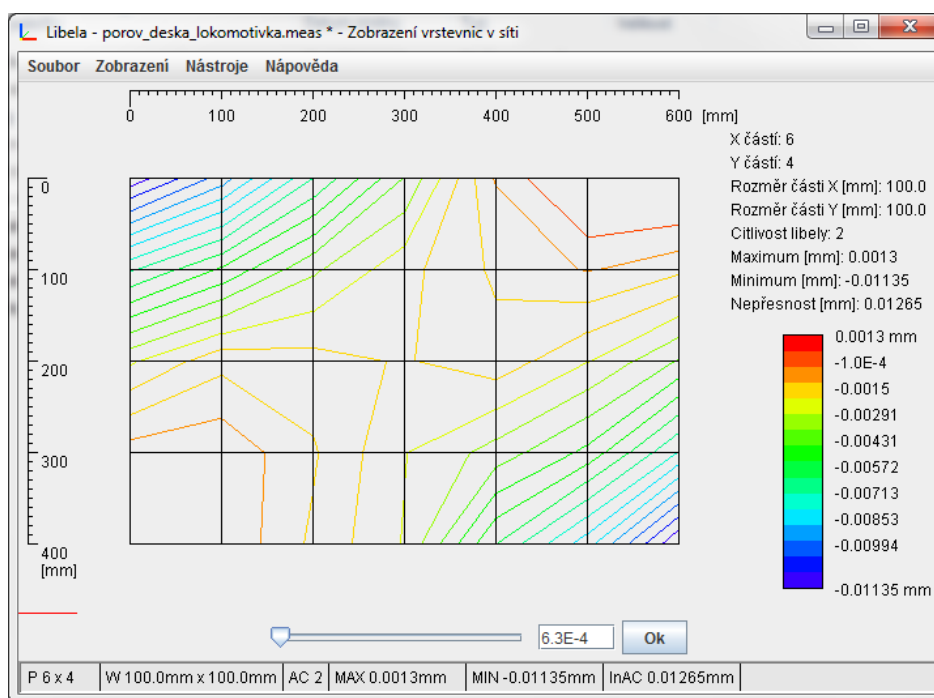
Každý uzel této sítě je zbarvený podle jeho výšky, barvou z barevné palety, a navíc je u každého uzlu vypsána jeho přesná výška. Výška je zaokrouhlena na 5 desetinných míst a je udávána v mm. Je tedy jasné, že tato vizualizace nám neposkytne informace o tom, jak se povrch měřené desky chová mezi uzly (uvnitř obdélníků, čtverců).

3.4 Zobrazení vrstevnic

[DEF] [GIS] Vrstevnice jsou jedním z mnoha druhů izolinií. Izolinie (z řeckého isos – stejně) jsou typem liniové mapové značky nebo prvkem některých dalších druhů diagramů. Spojují místa se stejnými kvantitativními hodnotami (fyzikální, sociometrické nebo jiné veličiny). Izolinie s rozdílnými hodnotami se nemohou křížit a používají se pro jevy, které plynule mění své kvantitativní charakteristiky v rámci plochy. Vykreslování charakteristických čar na plochu je velmi silným a používaným nástrojem pro analýzu a vizualizaci povrchových vlastností.

Vrstevnice je křivka, která spojuje body se stejnou výškou (na mapách body se stejnou nadmořskou výškou). Pro zhotovení vrstevnicové mapy se volí stejné rozestupy (výškové rozdíly) mezi vrstevnicemi, tzv. ekvidistance (základní interval vrstevnic). Čím více stoupá (klesá) svah plochy, tím více jsou vrstevnice u sebe. Ukázka vizualizace vrstevnic programem Libela je na obrázku 17.

Při kterémkoliv zobrazení je důležité, abychom měli zobrazovanou síť vyrovnanou. Na vyrovnané síti dokážeme teprve určit její nerovnosti. Znamená to, že naměřenou síť je proložena rovina pomocí metody nejmenších čtverců a následně je tato rovina, společně s měřenou sítí, transformována tak, aby byla rovnoběžná s rovinou XY, viz příloha A odstavec 4.6.



Obrázek 17: Zobrazení vrstevnic v síti v programu Libela

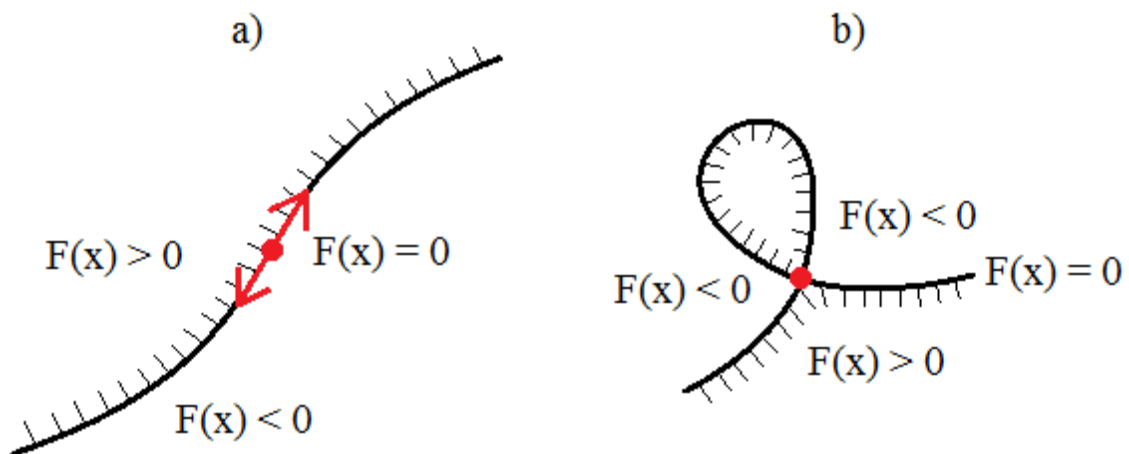
3.4.1 Výpočet vrstevnic

Pro získání vrstevnic určitého povrchu existuje více technik. Dvě základní, které se využívají v počítačové grafice, jsou sledovací a vzorkovací techniky.

3.4.1.1 Sledovací technika

Sledovací technika, jak název napovídá, je technika, která sleduje stejnou výšku na ploše. Na obrázku 18 a) je vidět postup výpočtu vrstevnic. Nacházíme se v červeném bodě, ze kterého se chceme vydat po vrstevnici a tudíž po stejné výšce. V levém směru od vrstevnice a od našeho bodu plocha stoupá, zatímco v pravém směru výška plochy klesá. Musíme se tedy vydat ve směru červených šipek a tím si zachováme stále stejnou výšku.

Problém může nastat, pokud jsme v sedlovém bodě a máme k dispozici 4 směry, kterými se můžeme vydat, jak je zobrazeno na obrázku 18 b). Nesmíme žádný z těchto směrů vynechat, jinak bychom neměli správně vypočítanou vrstevnici a z vizualizace vrstevnic by nebyl poznat tvar povrchu.



Obrázek 18: Sledovací technika pro výpočet vrstevnic; a) postup výpočtu; b) problém při výpočtu

3.4.1.2 Vzorkovací technika

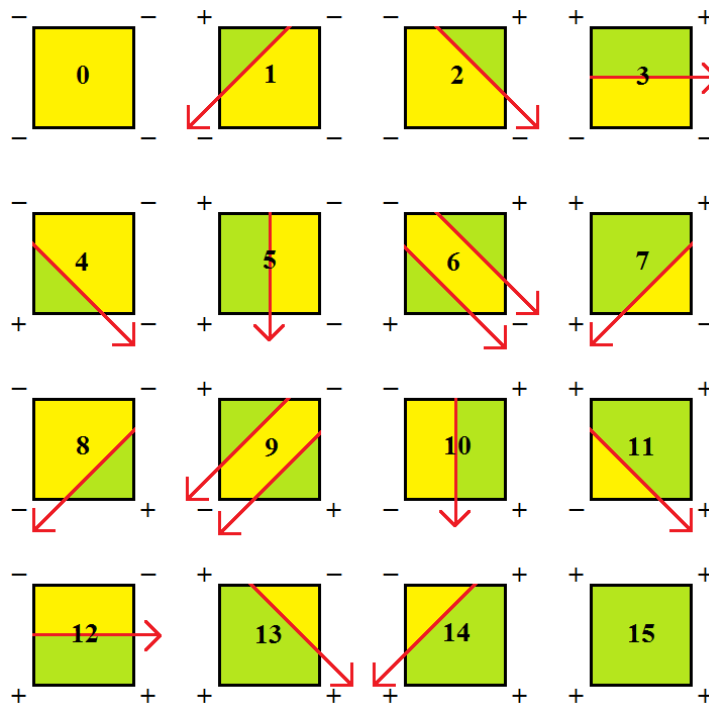
Tato technika je použita v programu Libela pro výpočty vrstevnic.

Vzorkovací technika se využívá, pokud máme data v pravidelné mřížce (např. čtvercové nebo obdélníkové). Díky pravidelnosti mřížky máme zaručeno, že v jednom

políčku této mřížky budou vždy čtyři vrcholy. Vrcholy můžou být nad nebo pod požadovanou výškou vrstevnice. V každém vrcholu máme tedy 2 možnosti. To nám dává $2^4 = 16$ situací, jak se může chovat vrstevnice uvnitř jednoho políčka.

Zobrazení těchto situací je na obrázku 19. Každý vrchol je označen znaménkem + nebo -. Plus znamená, že výška vrcholu je nad požadovanou výškou vrstevnice, zatímco mínus znamená opak, výška je pod požadovanou výškou vrstevnice. Červené šipky naznačují, jak vrstevnice prochází políčkem a směr této šipky je vždy orientován shora dolů a zleva doprava. Tento směr je využíván v programu při výpočtu počátečního a koncového bodu vrstevnice v daném políčku.

Pro výpočet ohodnotíme jednotlivé vrcholy následovně: 1 – levý horní roh, 2 – pravý horní roh, 4 – levý dolní roh a 8 – pravý dolní roh. Poté se jednoduše zjistí, které vrcholy leží nad požadovanou vrstevnicí a jejich ohodnocení se nasčítají. Podle výsledku součtu poznáme, která situace nastala, a tudíž víme, jak se bude vrstevnice chovat a jsme schopni ji dopočítat. Výpočet souřadnic začátku a konce vrstevnice uvnitř políčka se provádí pomocí lineární interpolace na hranách. Pokud nastane situace 6 nebo 9, tedy že v políčku se nacházejí 2 vrstevnice se stejnou výškou, je dané, že se budou vrstevnice uzavírat kolem vrcholů s plusovým znaménkem.



Obrázek 19: Vzorkovací technika; chování vrstevnic uvnitř polí; znaménko + výška uzlu větší než výška vrstevnice; znaménko - výška uzlu nižší než výška vrstevnice; červená šipka označuje průchod vrstevnice políčkem

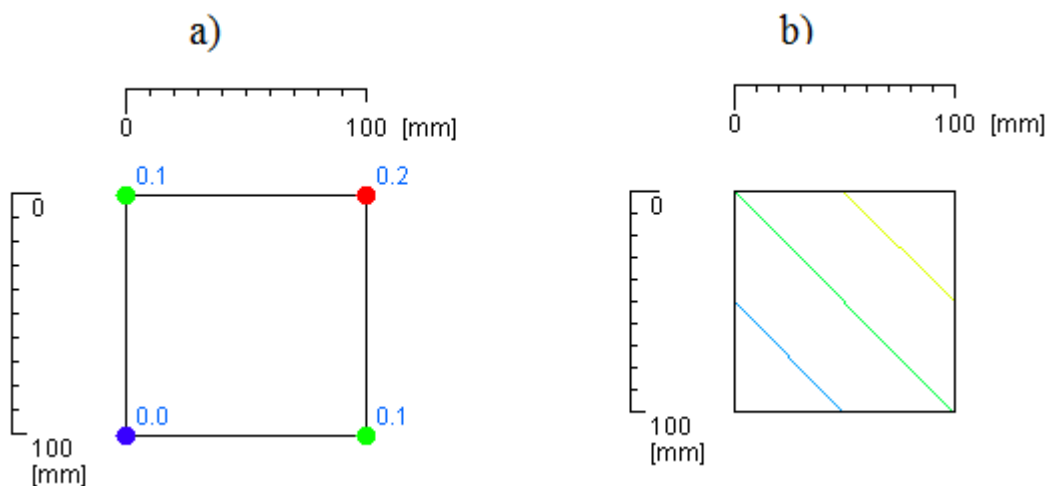
Tímto postupem získáme lineární vrstevnice uvnitř políček, které zadavatel žádal. Pokud bychom rozdělili každé políčko na několik menších a výšky v jejich vrcholech dopočetli bilineární interpolací (viz 3.5), získali bychom zakřivenou podobu vrstevnic (opět ale lineární). Této skutečnosti se využívá při 3D vizualizaci vrstevnic sítě.

3.4.1.2.1 Příklad

Pro představu uvedeme jednoduchý příklad. Máme měřenou síť o rozměrech 100 x 100 mm, která má pouze jedno políčko. Sklony na všech hranách jsou 1 mm/m, to znamená, že na každé hraně dojde k přírůstku výšky o 0,1 mm. Výšky v bodech jsou zobrazeny na obrázku 20 a).

Nyní budeme chtít zobrazit vrstevnice této plochy s ekvidistancí 0,05 mm. Projdeme tedy každý vrchol a zjistíme si, zda leží nad nebo pod požadovanou výškou vrstevnice. U této jednoduché plochy nám vyjde situace 11 pro vrstevnici s výškou 0,05 mm, vrstevnice s výškou 0,1 mm nám také ještě zůstane v situaci 11, ale do situace 2 se nám dostane vrstevnice s výškou 0,15 mm.

Víme tedy, na jakých hranách máme dopočítávat začátky a konce vrstevnic pomocí lineární interpolace z krajních bodů těchto hran. Výsledné zobrazení vrstevnic je na obrázku 20 b).



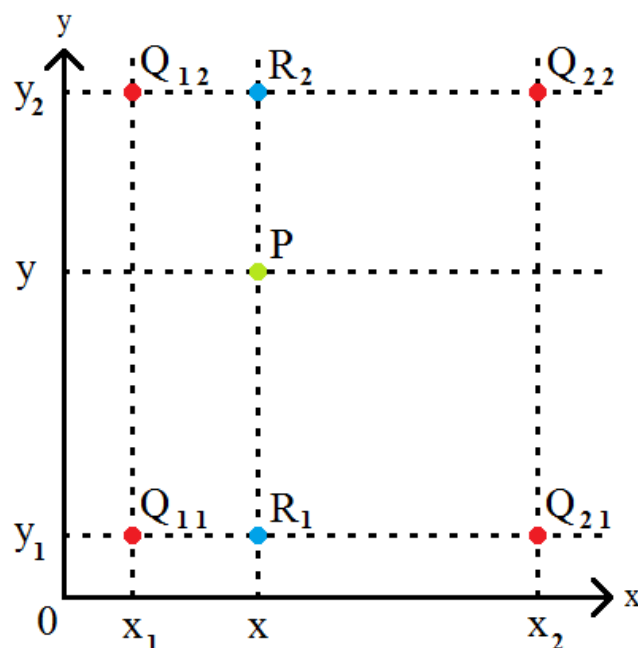
Obrázek 20: Příklad výpočtu vrstevnic pomocí vzorkovací techniky; a) výšky v krajních bodech mřížky [mm]; b) zobrazení vrstevnic s ekvidistancí 0.05 mm

3.5 Zobrazení výškové mapy

Výšková mapa se řadí mezi techniky barevného mapování (pseudobarvování), viz 3.1.2. [Telea] Barevné mapování je zřejmě nejrozšířenější vizualizační metodou pro skalární data. Zjednodušeně tato metoda funguje tak, že přiřazuje barvy ke skalárním hodnotám, v našem případě výškám. Mapuje funkci z E^3 do E^2 a jako doplňkový rozměr používá barvu jednotlivých bodů. Geometrie plochy je tedy zachována. Výhodou je, že se nestaráme o složité vykreslování tvaru povrchu, abychom mohli data vizualizovat, ale pouze obarvujeme jeho body.

V našem případě, kdy máme pravidelnou (čtvercovou, obdélníkovou) mřížku a hodnoty výšek pouze v uzlech, musíme dopočítat výšky uvnitř polí, abychom je mohli obarvit. K tomu nám dobře poslouží bilineární interpolace. Pomocí bilineární interpolace jsme schopni vypočítat přibližnou výšku plochy v kterémkoliv místě a následně pomocí barevné mapovací funkce přiřadit bodu barvu.

Bilineární interpolace je rozšíření lineární interpolace pro interpolaci funkce dvou proměnných na pravidelnou prostorovou mřížku. Klíčová myšlenka je provést lineární interpolaci nejprve v jednom směru a pak ve druhém směru. Tím dostaneme odhad výšky v daném bodě, jak je ukázáno na obrázku 21. Výpočet se provádí pomocí rovnice 1.

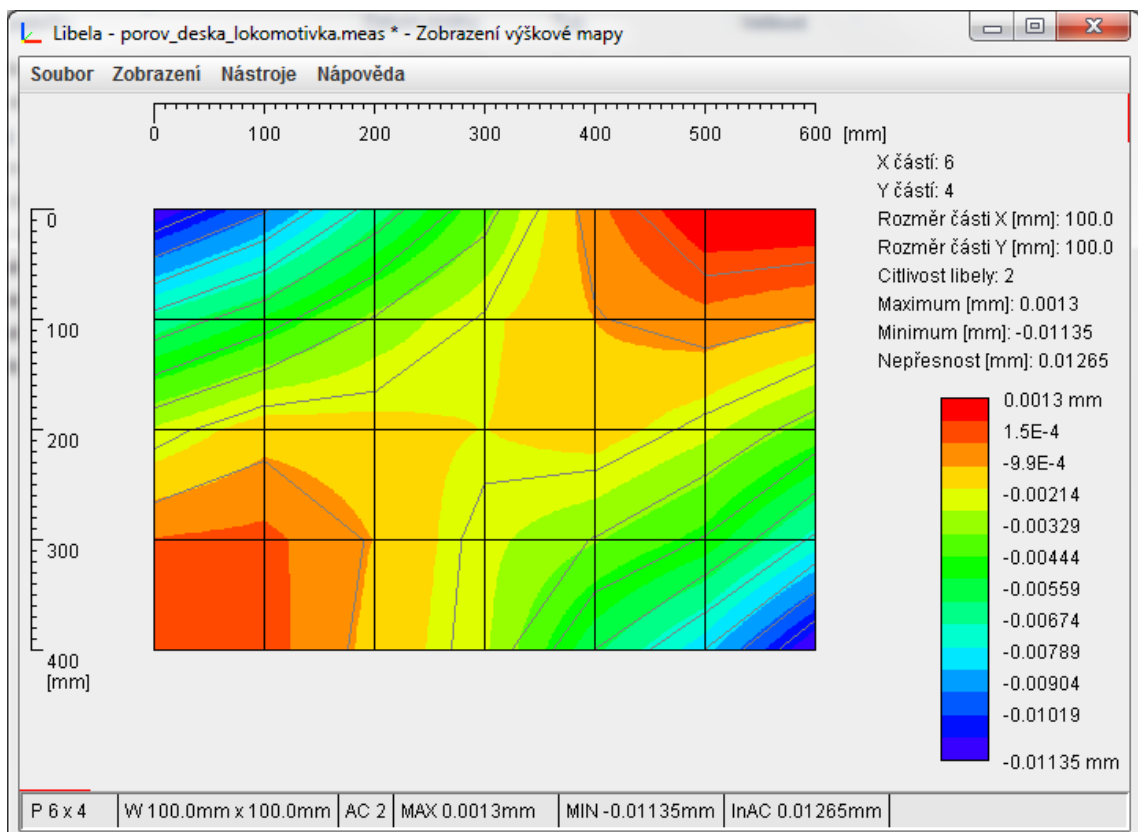


Obrázek 21: Body pro výpočet bilineární interpolace; body Q jsou známé body mřížky; body R jsou pomocné body po prvním výpočtu lineární interpolace; v bodu P chceme určit výšku

$$\begin{aligned}
f(x, y) \approx & \frac{f(Q_{11})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x_2 - x)(y_2 - y) \\
& + \frac{f(Q_{21})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x - x_1)(y_2 - y) \\
& + \frac{f(Q_{12})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x_2 - x)(y - y_1) \\
& + \frac{f(Q_{22})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x - x_1)(y - y_1)
\end{aligned}$$

Rovnice 1: Výpočet bilineární interpolace

Po vypočtení výšky bodu P mu můžeme přiřadit odpovídající barvu z barevné palety a pokračovat výpočtem v dalším bodě, abychom dosáhli plynulých barevných přechodů na povrchu. Ukázka, jak může vypadat výsledná výšková mapa, je zobrazena na obrázku 22.



Obrázek 22: Zobrazení výškové mapy v programu Libela

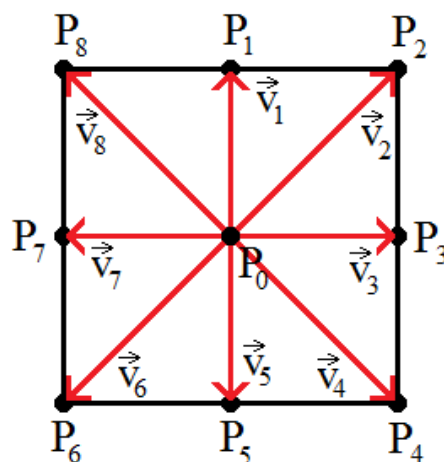
3.6 Zobrazení odchylek normál povrchu

Zobrazení odchylek normál povrchu se řadí stejně jako výšková mapa mezi techniky barevného mapování. Tato vizualizace již ale není tak snadná. Zatímco v případě výškové mapy stačilo vypočítat výšky v každém bodu plochy, nyní musíme spočítat v každém uzlu sítě normálu povrchu, následně její odchylku od vektoru kolmého k rovině XY (tedy vektoru $n = (0, 0, 1)$) a poté opět pomocí bilineární interpolace dopočítat odchylky uvnitř jednotlivých polí. Následně se může použít barevná mapovací funkce pro převod odchylky normály na barvu.

Výhodou tohoto zobrazení oproti předchozímu je fakt, že nemáme barevně odlišeny výšky bodů sítě, ale jejich odchylky. To znamená, že vidíme „křivost“ povrchu. V tomto zobrazení jsou dobře patrné „kopce“ a „údolí“, protože mají nulovou odchylku normály.

Jelikož nemáme přesně daný předpis funkce, která by nám popsala chování povrchu a ze které bychom mohli dopočítat normály v bodech, musíme si normály v uzlech dopočítat jiným způsobem. Naší výhodou je to, že máme vždy pravidelnou síť (obdélníkovou, čtvercovou) a tudíž můžeme normálu vypočítat z vektorů směřujících k sousedním a diagonálním uzlům, jak je zobrazeno na obrázku 23.

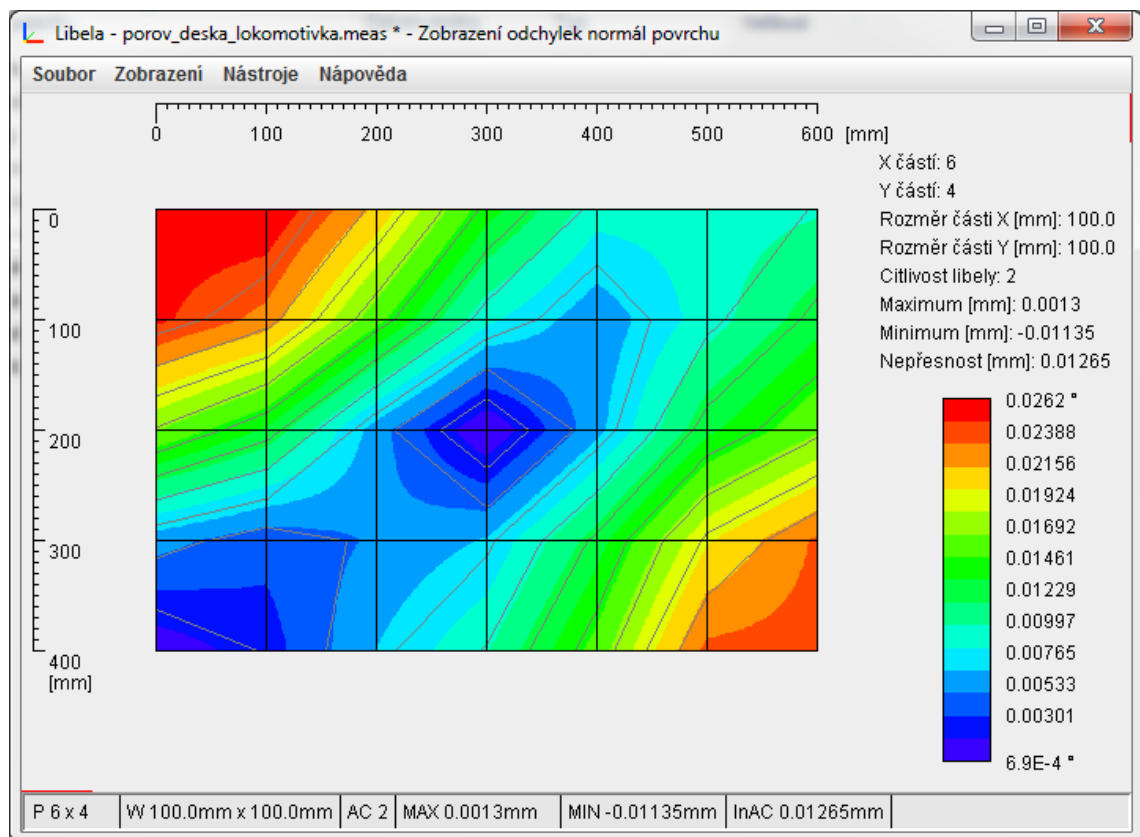
Z bodu P_0 si nejprve uděláme vektory k sousedním uzlům v_1 až v_8 a poté pro dvojice vektorů zhotovíme jejich normály n_1 až n_8 vektorovým součinem ($n_1 = v_1 \times v_2$, $n_2 = v_2 \times v_3$, ... $n_7 = v_7 \times v_8$, $n_8 = v_8 \times v_1$). Výsledný normálový vektor je součtem těchto vektorů, jejichž hodnoty jsou ještě před výpočtem odchylek normalizovány.



Obrázek 23: Směry vektorů pro výpočet normály v bodě na pravidelné mřížce

Při výpočtu vektorů musíme dát pozor na to, kde se právě nacházíme (kde leží bod P_0). Pokud bod P_0 leží na okrajích sítě, nemáme k dispozici všech osm směrů, ale pouze 3 na rozích sítě a 5 na hranách sítě. Z toho vyplývá další úskalí. Na hranách sítě se nám pro výpočet normál vektorů do párů dostávají vektory protilehlé. Pokud bychom z nich počítali vektor na ně kolmý, zanášel by nám do výsledného normálového vektoru chybu. Proto tyto páry musíme z výpočtu vynechat.

Po vypočtení normál v uzlech sítě můžeme v každém bodu vypočítat odchylku normálového vektoru od vektoru $n = (0, 0, 1)$. Nyní aplikujeme stejný postup jako v případě výškové mapy, kde jsme měli v každém bodě jeho výšku, pouze s tím rozdílem, že budeme interpolovat odchylky. Poté již můžeme odchylky pomocí barevné mapovací funkce převést na barvu a vizualizovat, jak je vidět na obrázku 24.



Obrázek 24: Zobrazení odchylek normál povrchu v programu Libela

3.7 3D zobrazení

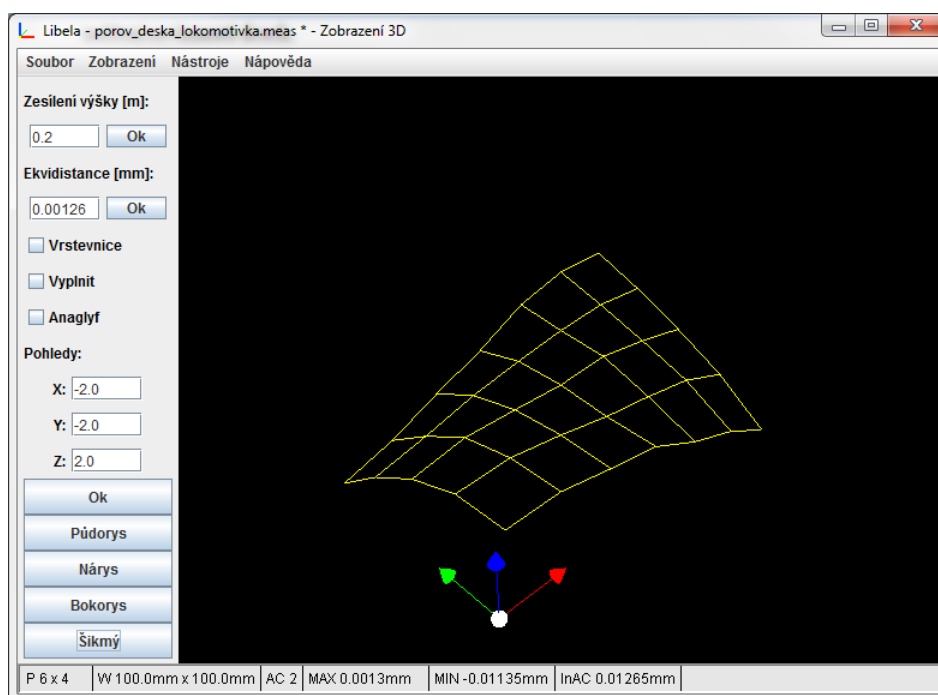
Posledním implementovaným a zároveň uživateli nejpoužívanějším zobrazením je trojrozměrná vizualizace. Je zde na výběr ze tří možností, a to zobrazení sítě, zobrazení povrchu měřené desky a anaglyfické zobrazení. Pro vykreslování byla použita knihovna Java3D od firmy Oracle.

Ve všech zobrazeních je možnost zesílení výšky, což znamená, jak vysoká se zobrazí měřená deska (rozdíl minimální a maximální z-ové souřadnice). Toto zesílení se nastavuje v metrech.

3.7.1 Zobrazení sítě

Nejjednodušší, ale pravděpodobně nejvíce využívané zobrazení z 3D vizualizací. Je zde čarami vykreslena pouze měřená síť. K síti se může přidat i vykreslení vrstevnic, které dopomůže k lepší představě o tvaru povrchu.

Důležitým aspektem při tomto zobrazení je, aby měl uživatel možnost otáčet s měřenou deskou (resp. otáčet kamerou), aby si mohl síť prohlédnout ze všech směrů. V případě programu Libela byl požadavek od uživatelů, aby byl přímo umožněn šikmý pohled na měřenou síť (směr kamery $(-1, -1, 1)$).



Obrázek 25: Zobrazení 3D sítě v programu Libela

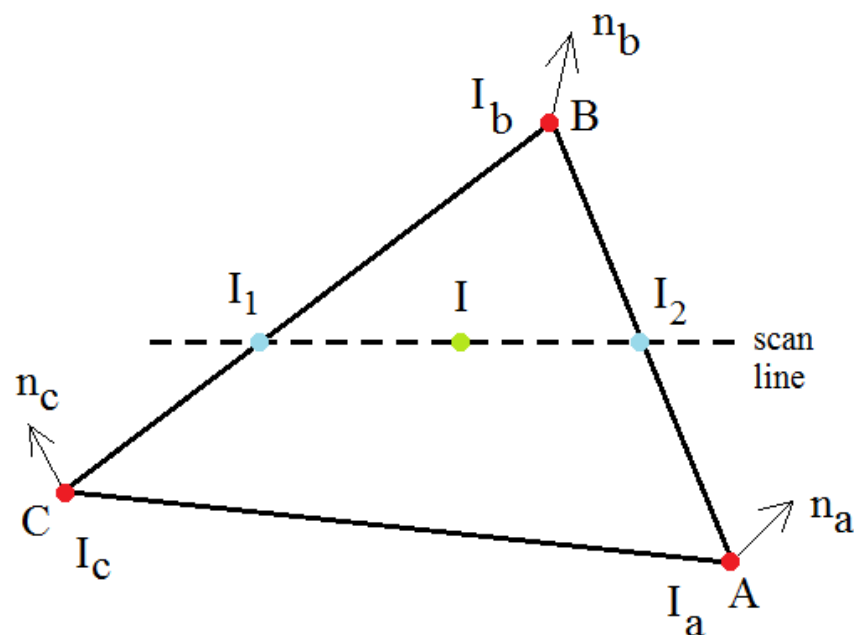
3.7.2 Zobrazení povrchu

Výhodou tohoto zobrazení je, že vidíme naměřenou plochu „jako“ skutečnou. Zobrazují se zde stíny, odráží světlo od světelného zdroje a jsou zde vidět nepřesnosti povrchu několikanásobně zvětšené.

Knihovna Java3D, která je použita v programu Libela pro trojrozměrné vizualizace používá dva základní modely stínování, konstantní a Gouraudovo.

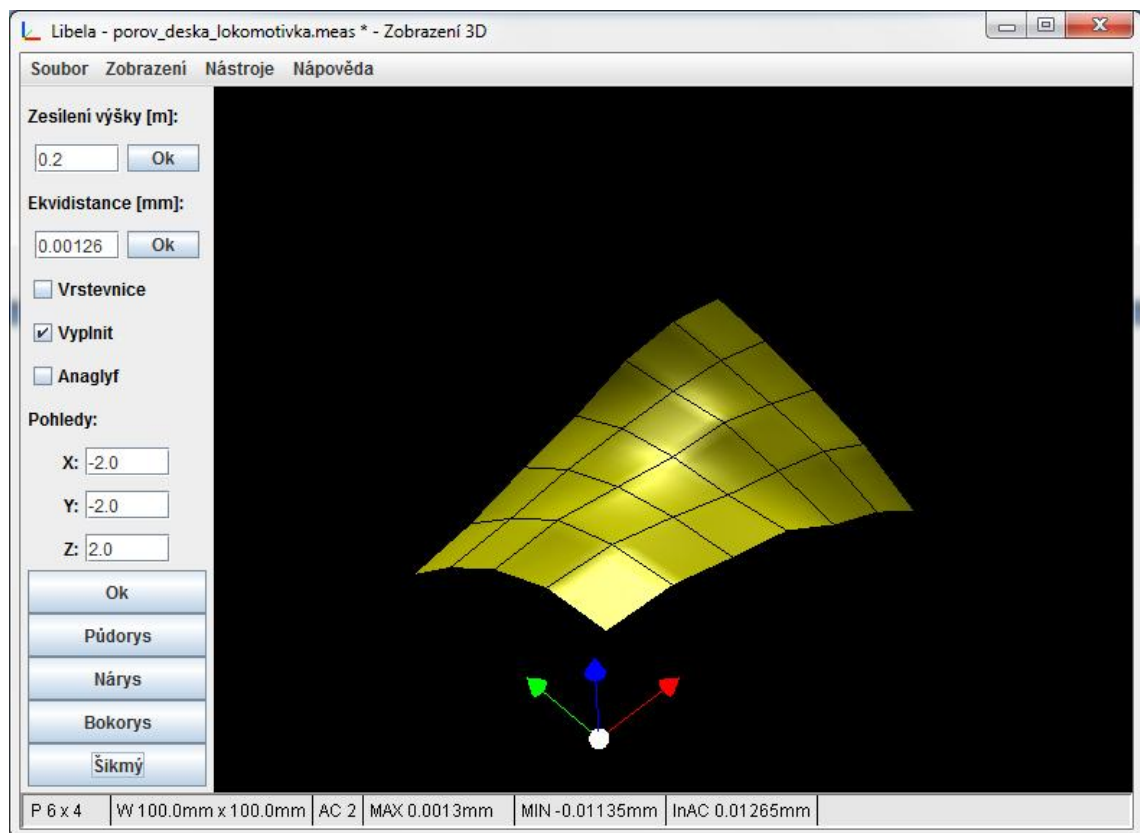
Konstantní stínování vypočte vždy barvu (intenzitu) pro celou plošku a touto barvou je obarven každý její bod. Výsledný obrázek tedy moc neodpovídá realitě. Navíc na hranách (styku) dvou plošek, které mají rozdílný normálový vektor, dochází ke skokové změně intenzity, kterou oko velice vnímá.

Proto se více vyplácí použít Gouraudovo stínování. V Gouraudově stínování jsou všechny pixely stínovány hodnotou intenzity, která je odvozena lineární interpolací z hodnot stínování v každém vrcholu trojúhelníku, jak je ukázáno na následujícím obrázku 26.



Obrázek 26: Gouraudovo stínování; červené body jsou vrcholy trojúhelníku; modré body jsou pomocné po první lineární interpolaci; v zeleném bodě určujeme lineární interpolaci intenzity z bodů pomocných

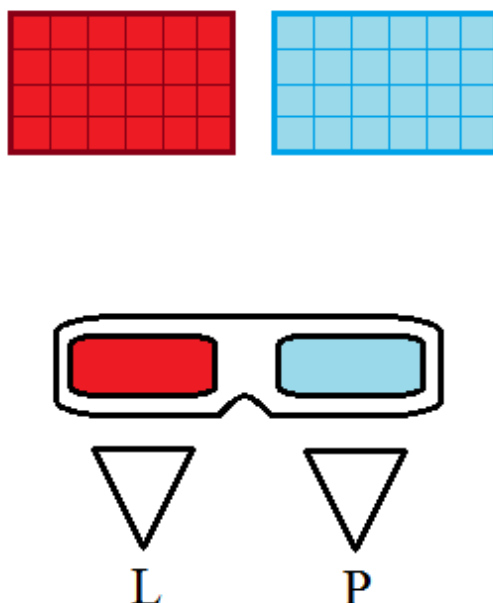
Při nastavování materiálu povrchu je zdůrazněna lesklá (specular) složka, aby byly zřetelně vidět nerovnosti. Tato složka udává, jakou měrou se bude odrážet světlo od povrchu.



Obrázek 27: Zobrazení 3D povrchu v programu Libela

3.7.3 Anaglyf

[KRIZ] Anaglyf je jednou ze stereoskopických technik, díky nimž může pozorovatel prostorově vnímat obraz pomocí speciálních brýlí. Zobrazovaný obraz je rozdělen na dva, jeden pro levé a druhý pro pravé oko. Obrazy se liší v použité barvě. Jedna složka je většinou azurová (modrozelená) a druhá červená. Těmto barvám také odpovídají sklíčka v brýlích. Výhodou anaglyfu je, že je použitelný na všech existujících zobrazovacích zařízeních (monitory, projektory, tisk). Pro některé lidi je ale nevhodný, jelikož ho nejsou schopni vidět, i když mají zdravý zrak. Ukázka fungování anaglyfu je na obrázku 28.



Obrázek 28: Fungování anaglyfu; levé oko kouká přes červený filtr, pravé přes azurový

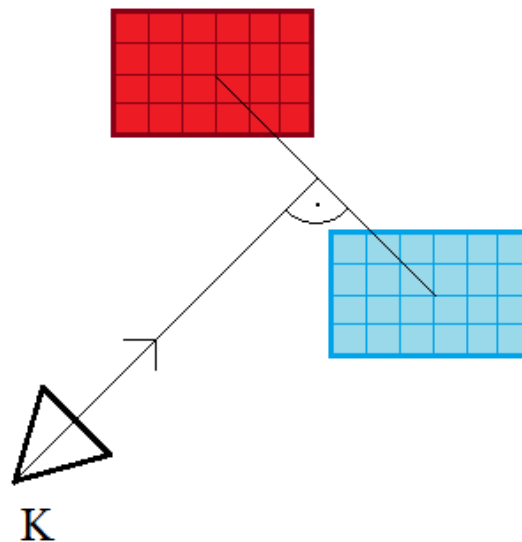
3.7.3.1 Vytvoření anaglyfu

Jak již bylo napsáno, abychom mohli zobrazit anaglyf, potřebujeme pro každé oko jeden obrázek. Tyto obrázky jsou odděleny barevně. Anaglyf je tvořen barvami, které si jsou vzájemně doplňkové (jejich subtraktivním smícháním vznikne černá, aditivním bílá barva). Takových barev existuje mnoho, ale ne všechny barvy jsou pro takové použití vhodné. V dnešní době se nejčastěji používá kombinace červené a azurové (red-cyan). Červený filtr je použit na levé oko, zatímco azurový na pravé. Mohou se použít i jiné barevné kombinace, např. červená-zelená nebo červená-modrá, ale tyto barevné kombinace si nejsou doplňkovými barvami.

V programu Libela vzniká anaglyf tak, že se do prostoru dvakrát vykreslí tatáž plocha, jen s tím rozdílem, že pro levé oko je posunuta vlevo a obarvena do červené barvy a pro pravé oko je posunuta vpravo a je obarvena do modré barvy. Oba tyto povrchy mají nastavenou průhlednost, aby bylo zaručeno, že se nebudou překrývat. Kombinace červeno-modré barvy byla zvolena kvůli dobré kvalitě výsledného zobrazení na brýlích, které mám k dispozici.

Při otáčení pozorovatele okolo objektu je nutné tyto plochy posunovat tak, aby byl obraz pro levé a pravé oko vždy zachován. Pokud bychom ponechali vykreslené

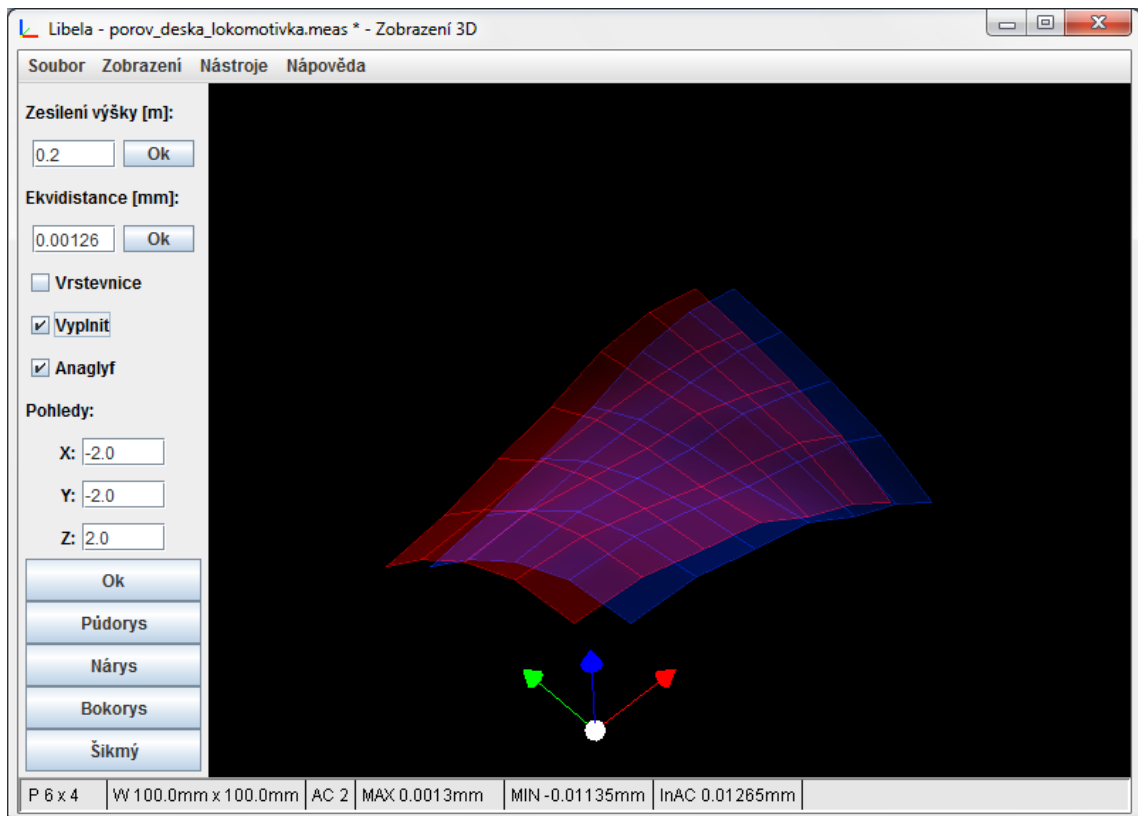
plochy v jednom umístění (tzn. obraz pro levé oko vlevo a obraz pro pravé oko vpravo), nijak bychom s nimi nehýbali a otočili bychom se okolo ploch o 180° , měli bychom prohozené obrazy pro levé a pravé oko. Proto je nutné měnit pozice ploch tak, aby jejich posun „vlevo“ a „vpravo“ byl kolmý na směr kamery. Jak je vidět na obrázku 29, kamera se dívá na objekty z úhlu 45° , tudíž musíme vykreslované objekty posunout ve směru kolmém na směr kamery, aby byl zachován prostorový vjem.



Obrázek 29: Pozice kamery a posun objektů pro vytvoření anaglyfu



Obrázek 30: Ukázka anaglyfického obrázku národního parku; zdroj obrázku [cs.wikipedia.org]



Obrázek 31: Zobrazení 3D anaglyfu v programu Libela

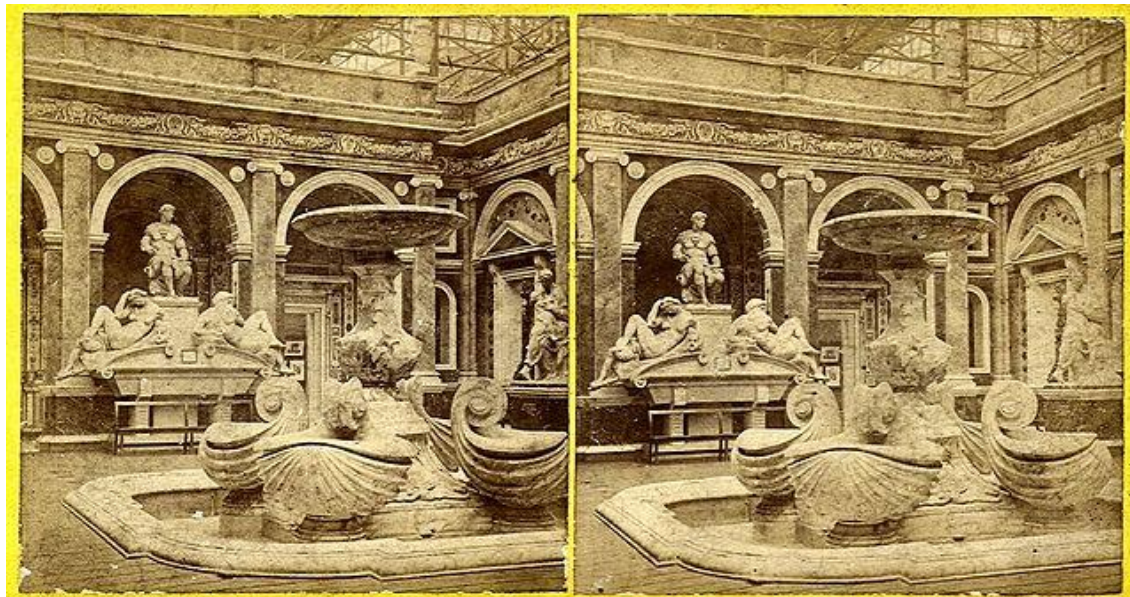
3.8 Další možnosti vizualizační metod

Chtěl bych v rychlosti zmínit několik vizualizačních metod, které nejsou v programu implementovány, ale dají se použít pro zobrazování chování povrchu.

Jako první bych asi uvedl zobrazení křivosti povrchu, jejímž zástupcem v programu Libela je zobrazení odchylek normál povrchu, viz 3.6. Tato metoda spadá společně s výškovou mapou a zobrazením odchylek normál mezi metody barevného mapování. Matematická složitost barevné mapovací funkce je zde ale několikanásobně těžší, než tomu bylo v případě výškové mapy. Pro vizualizace se dají použít 4 druhy křivosti, normálová křivost (křivost ve směru, implementována), hlavní křivost (extrémní normálová křivost v daném bodě), Gaussova křivost (součin hlavních křivostí) a střední křivost (aritmetický průměr hlavních křivostí).

Další možností, která by se dala použít je stereografie. Spadá mezi stereoskopické vizualizační metody. Na rozdíl od anaglyfického zobrazení, kde jsou obrázky pro levé a pravé oko spojeny v jeden, zde máme obrázky pro každé oko zvlášť.

Její výhodou je, že se dá použít, stejně jako anaglyfické zobrazení, na všech existujících zobrazovacích zařízeních. Nevýhodou ovšem je, že člověk se musí zadívat na obrázky a spojit si je v jeden prostorový, což se ne každému povede. Navíc po krátké chvíli se oči velice unaví. Tato technika se tedy moc nevyužívá. Ukázka stereografického zobrazení je na obrázku 32.



Obrázek 32: Ukázka stereografického obrázku interiéru Křišťálového paláce pořízeného během Světové výstavy 1851 v Londýně; zdroj obrázku [cs.wikipedia.org]

Metod stereoskopického zobrazení je mnoho, ale je nutné využít speciální technologie, které toto zobrazení umožní vizualizovat. Tyto metody se využívají například při promítání 3D filmů v kinech. Jsou finančně nákladné a pro zadavatele tedy nevhodné.

4 Testování vizualizačních metod

Testování správného fungování implementovaných vizualizačních metod probíhalo jak na reálně naměřených datech, poskytnutých uživateli, tak na umělých datech, kde se může lépe otestovat správnost vizualizace. Některé vizualizace byly rovněž porovnány s vizualizací ve starém programu Libela.

Všechny následující obrázky jsou vytvořené v novém programu Libela. Použitá testovací data jsou vždy naměřené nebo vymyšlené sklony na hranách pomyslné sítě měřené desky.

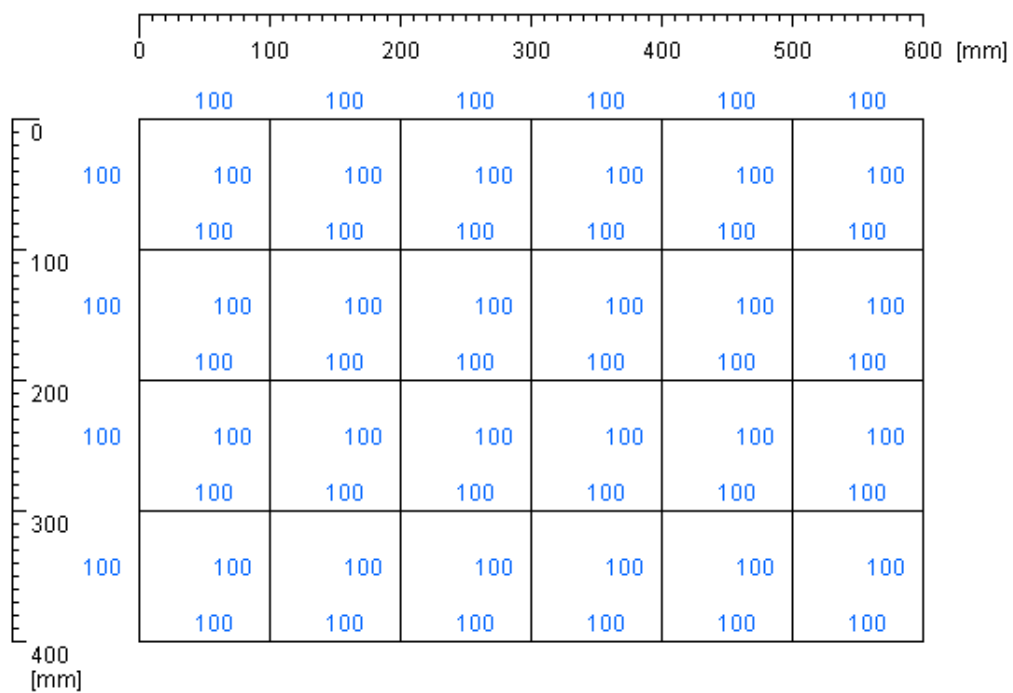
4.1 Testování na umělých datech

První dva příklady testování na umělých datech budou zaměřeny na otestování implementace, zda program opravdu zobrazuje to co má. Další příklady prověří vizualizační techniky z hlediska vhodnosti na zobrazování určitého druhu dat. Bude ukázáno, na která data se hodí jaká vizualizační technika a naopak, která technika je nevhodná.

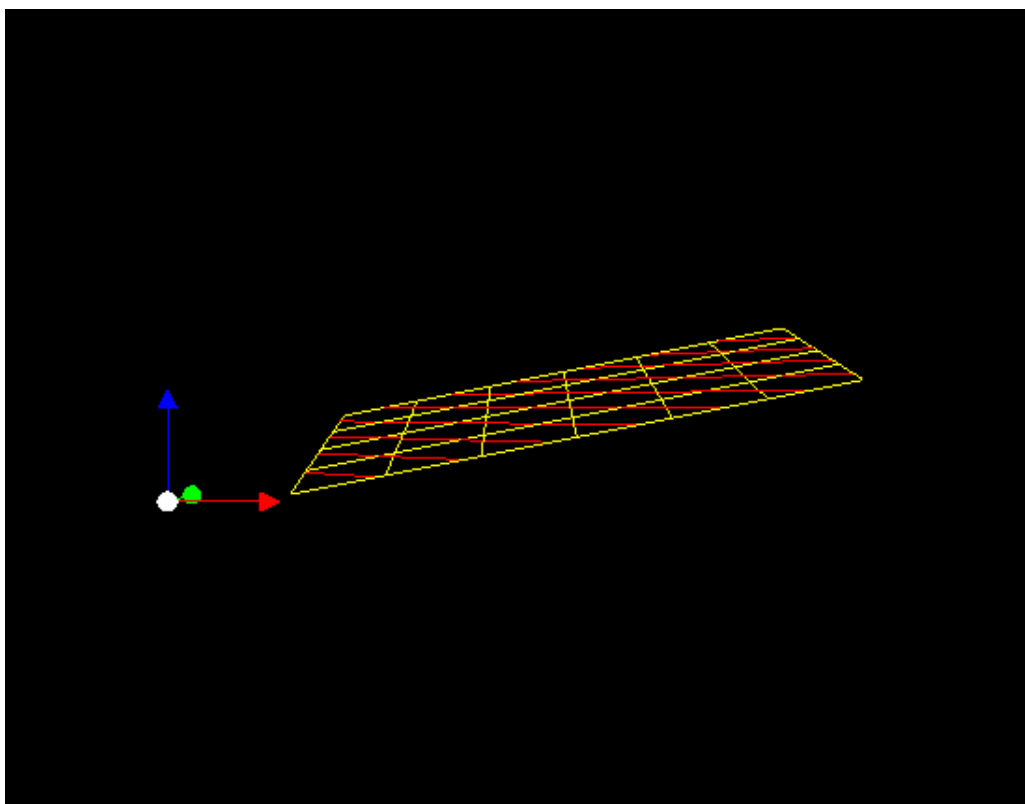
4.1.1 Příklad 1

Jako první ukázkou umělých dat zvolíme rovnou plochu, která ale bude stoupat v kladném směru x-ové i y-ové osy. Sklony na všech hranách budou 100 (viz obrázek 33), což by při citlivosti měřicí libely 2 odpovídalo přírůstku výšky 0,1 mm/m. V našem případě, kdy rozměr jednoho čtverečku je 100 x 100 mm, dělá přírůstek 0,01 mm na každé hraně.

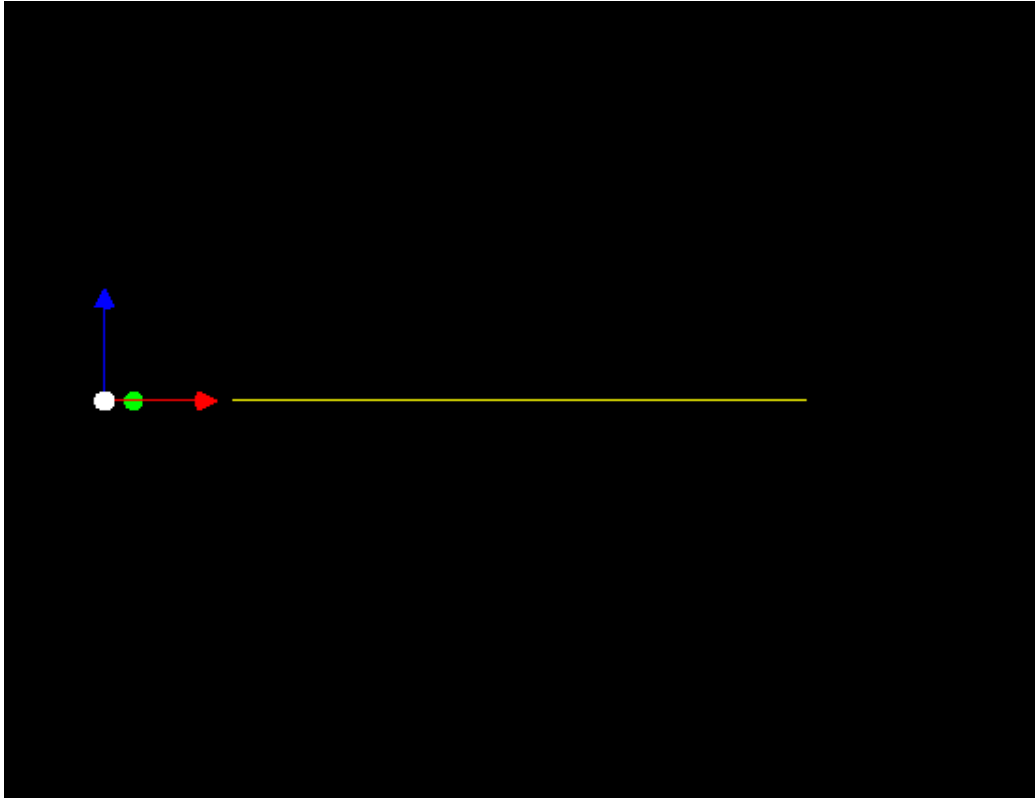
Jak je vidět na obrázku 35, po vyrovnání desky je deska rovná, což je logické, protože přírůstky výšek byly konstantní.



Obrázek 33: Zobrazení sklonů na hranách



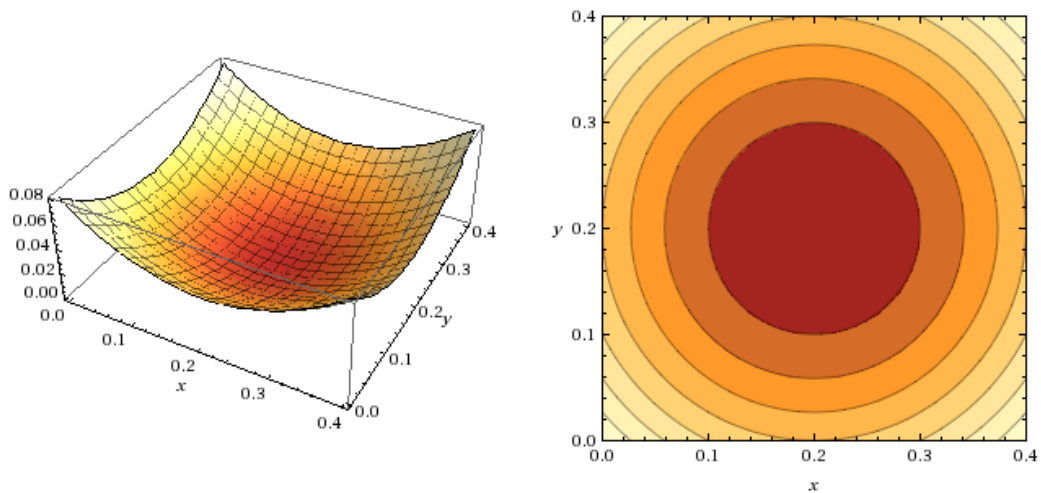
Obrázek 34: Zobrazení 3D sítě s vrstevnicemi před vyrovnáním



Obrázek 35: Zobrazení 3D sítě po vyrovnání

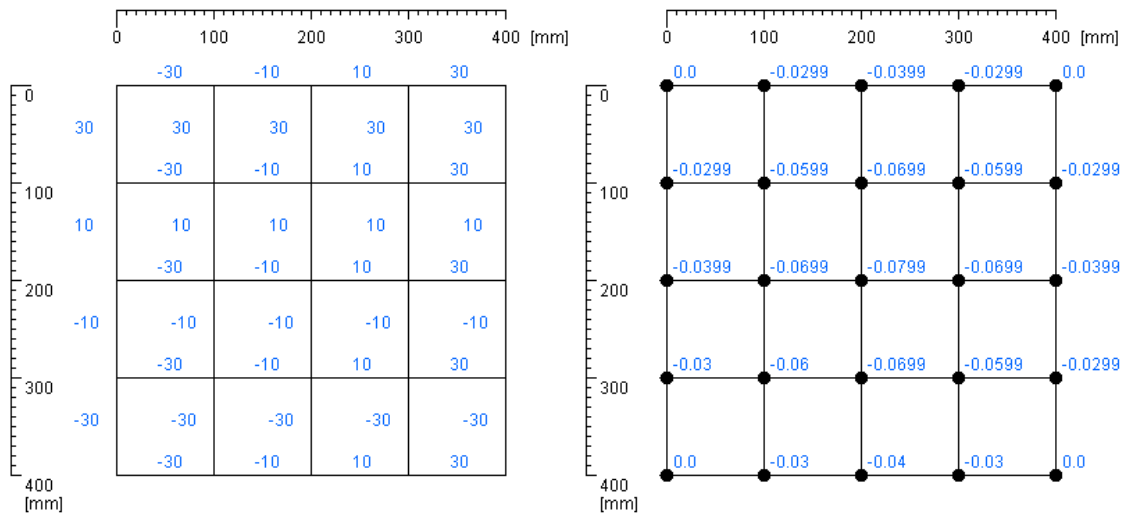
4.1.2 Příklad 2

Druhý příklad již nebude tak triviální. Jako předpis funkce popisující měřenou plochu zvolíme funkci $f(x, y) = (x - 0,2)^2 + (y - 0,2)^2$ pro x a y z intervalu $\langle 0; 0,4 \rangle$, viz obrázek 36.

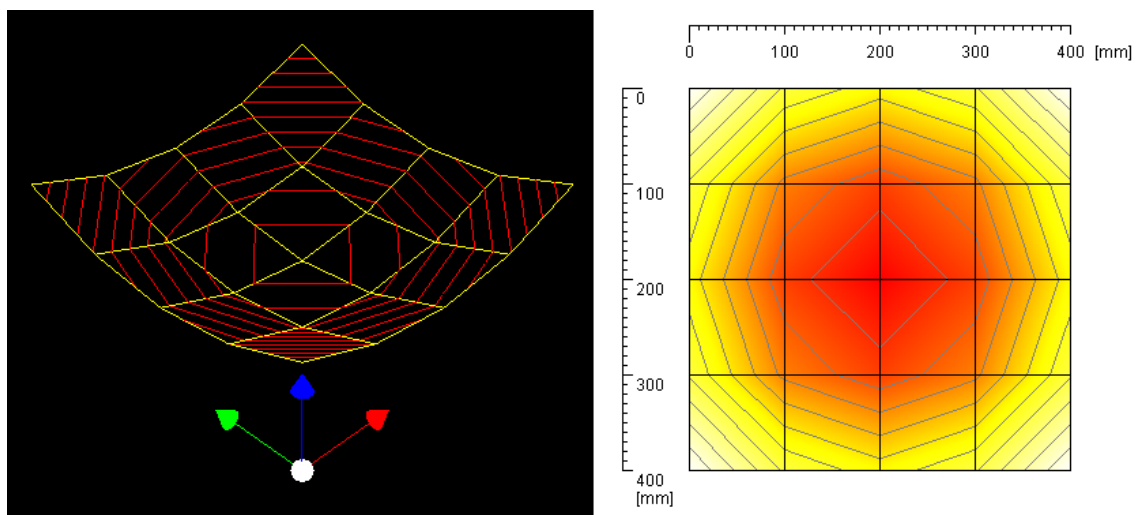


Obrázek 36: Zobrazení grafu a hladin funkce $f(x, y) = (x - 0,2)^2 + (y - 0,2)^2$; zdroj obrázku [www.wolframalpha.com]

Sklony jednotlivých hran budou při přepočítání do jednotek programu, při přesnosti měřící libely I (1), -30, -10, 10 nebo 30, jak je vidět na obrázku 37. Jak vidíme, výšky v jednotlivých bodech mřížky se liší od výšek na obrázku 36. Je to způsobeno výpočtem výšek v programu. Levému dolnímu rohu měřené mřížky se vždy přiřazuje výška 0 a od ní se dále dopočítávají ostatní.



Obrázek 37: Sklony a výšky v programu Libela pro funkci $f(x, y) = (x - 0,2)^2 + (y - 0,2)^2$



Obrázek 38: Vizualizace funkce $f(x, y) = (x - 0,2)^2 + (y - 0,2)^2$ v programu Libela; výšky od červené (nejnižší) k bílé (nejvyšší)

Výsledné vizualizace programu odpovídají skutečnosti. Rozdíl je patrný pouze při zobrazení vrstevnic, které jsou zobrazeny jako lineární lomená čára, viz 3.4.1.2.

4.1.3 Příklad 3 – „placka“

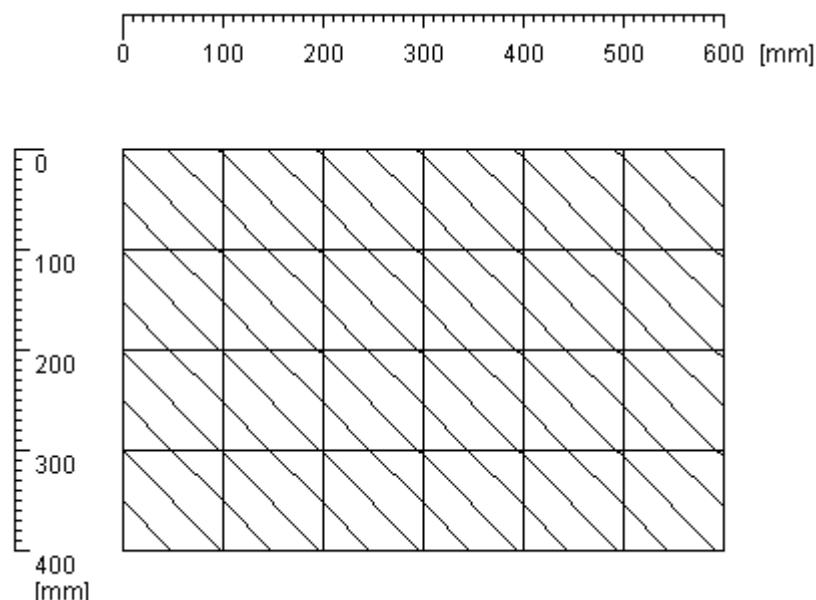
Na příkladu placky si ukážeme, jak rychle uživatel dokáže z vizualizačních metod poznat mřížku, která je absolutní rovinou, nijak neskloněnou. Tento případ ale v praxi nikdy nenastane, respektive, mohl by nastat, ale pravděpodobnost jeho výskytu je velmi malá díky přesnosti s jakou měří libela.

Nyní již k testování metod. Ze všech metod, které jsou v programu implementovány, dokáže uživatel poznat, že se jedná o absolutní rovinu. Všechny sklony na hranách budou nulové, stejně jako výšky uzlů. Ovšem nejrychleji si to uživatel uvědomí ze zobrazení výškové mapy nebo odchylek normál. Celá plocha mřížky bude totiž obarvena pouze jednou stejnou barvou.

Naproti tomu může být uživatel zprvu trochu zmaten ze zobrazení vrstevnic, protože na ploše nebude vykreslena žádná (mřížka je absolutně rovná).

4.1.4 Příklad 3 – „nakloněná placka“

Vezměme rovinu z Příklad 1, tedy absolutní rovinu, která stoupá ve směru x-ové i y-ové osy. Uživateli jsou zobrazeny vrstevnice následujícím způsobem, viz obrázek 39.



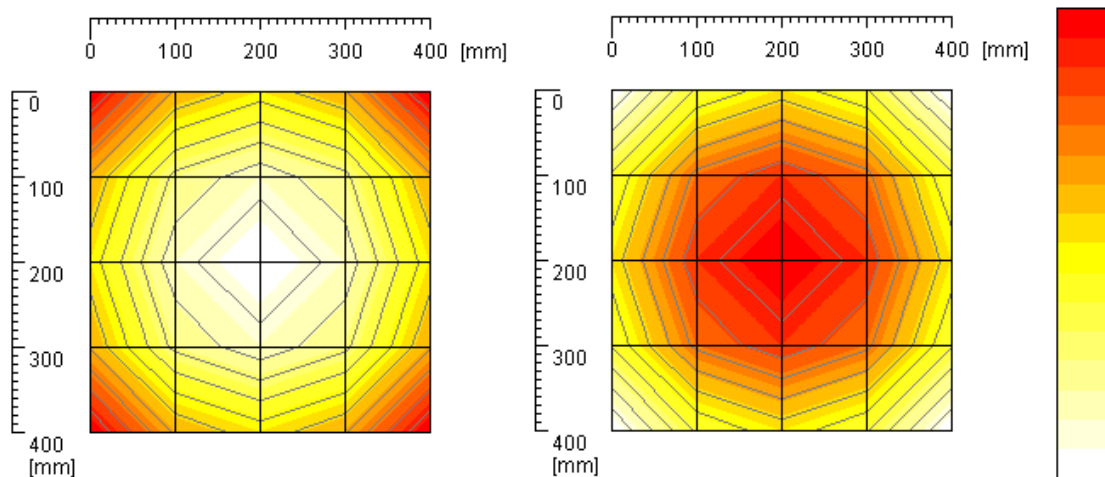
Obrázek 39: Vrstevnice nakloněné plochy

Při pohledu na vrstevnice, které jsou zobrazeny pouze černě, nedokáže uživatel rozeznat, jestli zobrazená deska klesá nebo stoupá. Toto zobrazení se ale velice hodí pro tisk. Navíc je na této ukázce vidět, jak vypadají vesměs všechny reálně naměřená data před vyrovnáním. Měřená deska je vždy nějak sklopená, a jelikož se nepřesnosti projeví až po vyrovnání, je prvotní zobrazení skoro vždy podobné tomuto příkladu. Pokud bychom aplikovali vyrovnání desky na tomto příkladu, dostaneme absolutní rovinu z 4.1.3.

U tohoto příkladu by mohl mít uživatel problém s odhadnutím tvaru ze zobrazení odchylek normál. Ty budou ve všech bodech mřížky konstantní, tudíž zobrazeny pouze jednou barvou. Nedokáže tedy určit, jak je síť nakloněna, pokud vůbec je. Ale ihned z tohoto zobrazení pozná, že se jedná o rovinu.

4.1.5 Příklad 4 – „prohnutý“, „vypouklý“ a kombinace obou

Nyní vezmeme sklony z příkladu 2 (prohnutá deska) a vytvoříme si obdobnou desku, ovšem vypouklou. Sklony tedy budou mít opačné znaménko. Porovnání obou je na obrázku 40.

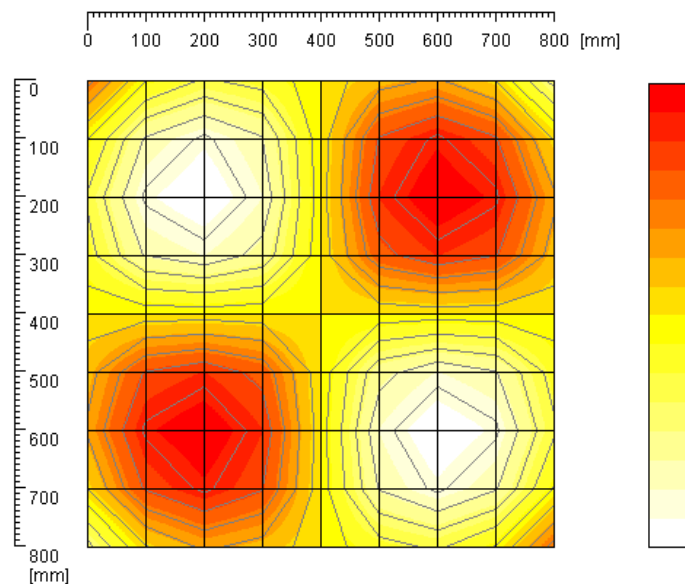


Obrázek 40: Porovnání „prohnuté“ a „vypouklé“ desky; výšky od bílé (nejnižší) k červené (nejvyšší)

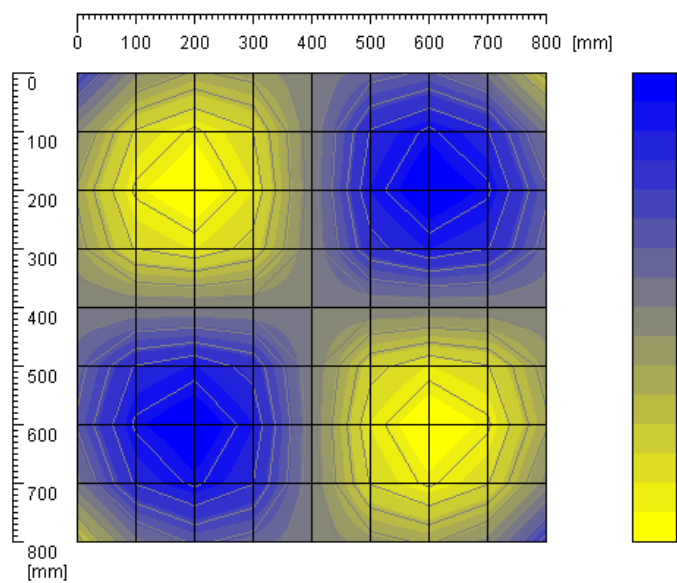
Abychom dokázali rozlišit, jak daná deska vypadá, je důležité mít zobrazenou škálu barev. Kdyby u obrázku 40 chyběla tato škála a nikde by nebylo napsáno, jak barvy přechází od nejnižší k nejvyšší, nedokázali bychom určit tvar. Další problém by mohl nastat, pokud bychom u jednoho zobrazení otočili škálu barev, tedy, červená barva

by znamenala nejnižší výšku a bílá nejvyšší. Poté bychom vizualizace od sebe nerozeznali.

Pokud uděláme kombinaci obou těchto ploch do jedné velké, můžeme dobře otestovat barevné sekvence, které by rychle dokázali rozlišit nejvyšší a nejnižší oblasti měřené desky. Dobře si prohlédněme následující obrázky 41 a 42.



Obrázek 41: Kombinace „prohnuté“ a „vypouklé“ desky; barevná sekvence bílo-žluto-červená

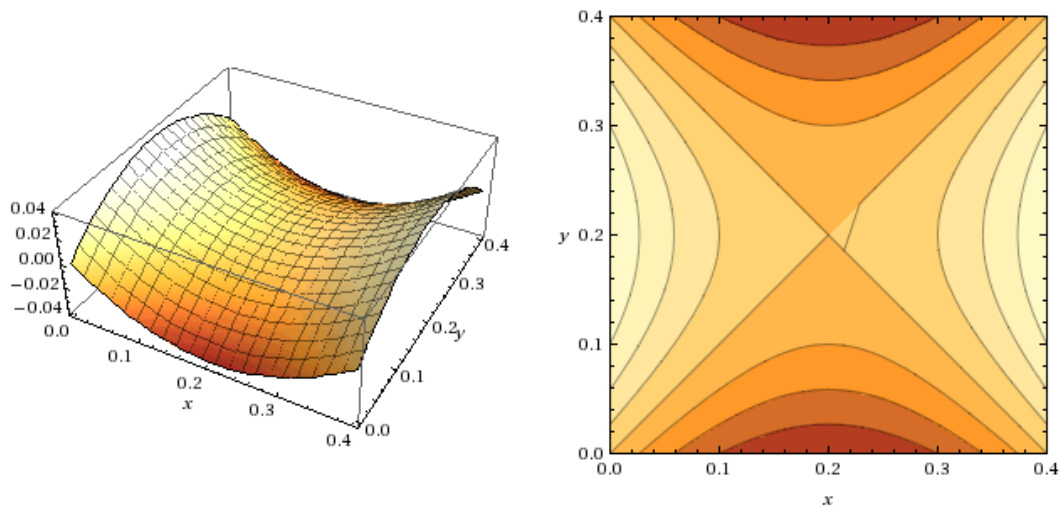


Obrázek 42: Kombinace „prohnuté“ a „vypouklé“ desky; barevná sekvence žluto-modrá

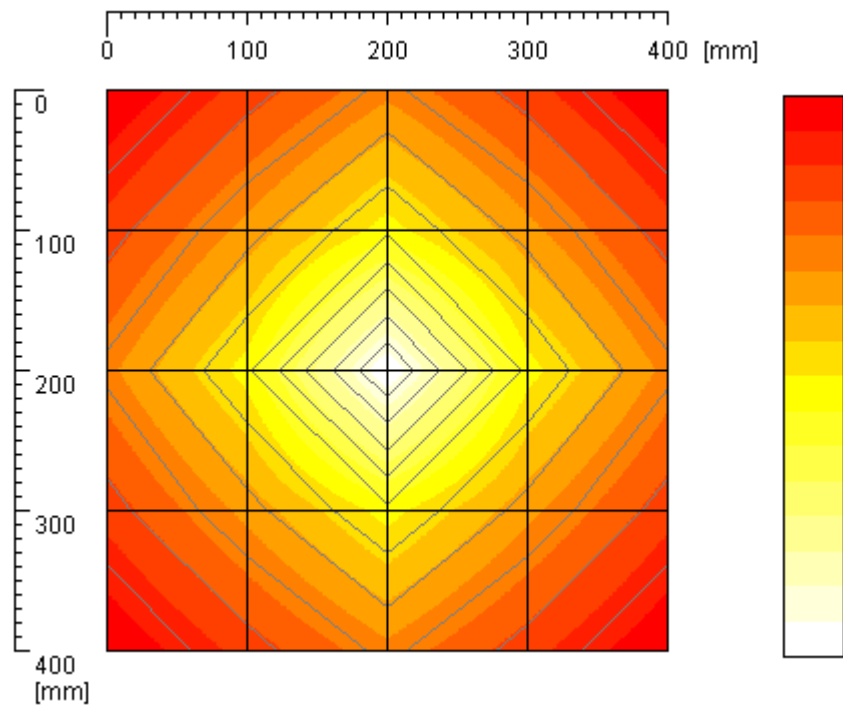
Když si nyní položíme otázku, která ze dvou barevných sekvencí lépe rozliší výšky a hloubky ve výškové mapě, většina z nás odpoví, že žluto-modrá. Je to dané tím, že tato barevná sekvence přechází pouze mezi dvěma barvami a navíc má neutrální střed. Barevná paleta bílo-žluto-červená díky žlutému středu nemá tak velkou rozlišovací schopnost mezi extrémy. Má ale jiné výhody, viz 3.1.2.4.

4.1.6 Příklad 5 – „sedlo“, „vlna“

Tento příklad dobře demonstruje, jaké úskalí, ale i výhody, může mít zobrazení odchylek normál povrchu. Pokud jako měřenou plochu použijeme funkci $f(x, y) = (x - 0,2)^2 - (y - 0,2)^2$ pro x a y z intervalu $\langle 0; 0,4 \rangle$, viz obrázek 43. Vizualizace odchylek normál od povrchu bude vypadat totožně jako v případě „vypouklé“ a „prohnuté“ plochy z příkladu 4. Zobrazení odchylek normál od povrchu je ukázáno na obrázku 44.



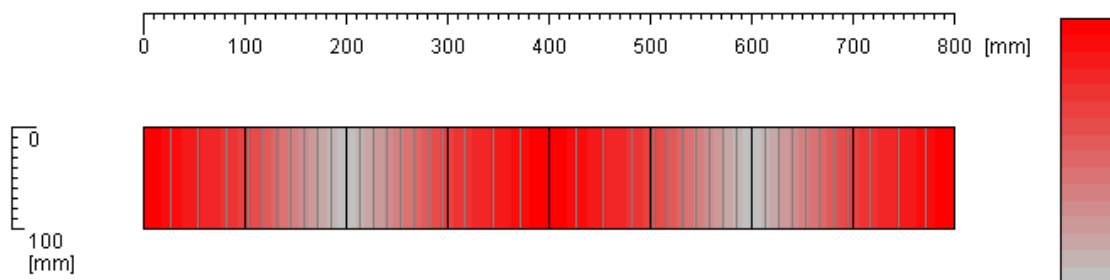
Obrázek 43: Zobrazení grafu a hladin funkce $f(x, y) = (x - 0,2)^2 - (y - 0,2)^2$; zdroj obrázku [www.wolframalpha.com]



Obrázek 44: Zobrazení odchylek normál pro funkci $f(x, y) = (x - 0,2)^2 - (y - 0,2)^2$, totožné s funkcí $g(x, y) = (x - 0,2)^2 + (y - 0,2)^2$ a funkcí $h(x, y) = -(x - 0,2)^2 - (y - 0,2)^2$

Nevýhodou tedy je, že pro více měřených desek můžeme získat stejné zobrazení a je tedy nutné použít jinou vizualizaci pro zjištění přesného tvaru. Ovšem nespornou výhodou této metody je zobrazení extrémů na měřené desce. Maxima a minima mají vždy odchylku normálového vektoru od vektoru kolmého na plochu XY nulovou a jsou tedy obarveny nejnižší barvou barevné palety.

Při testování této vizualizační metody se velice osvědčila šedo-červená paleta. Rychlost přechodu z šedé do červené je velice rychlá, tudíž nám dobře obarvuje pouze nejnižší hodnoty. Demonstrace je ukázána na obrázku 45 na ploše tvaru „vlny“.



Obrázek 45: Zobrazení odchylek normál plochy „vlny“

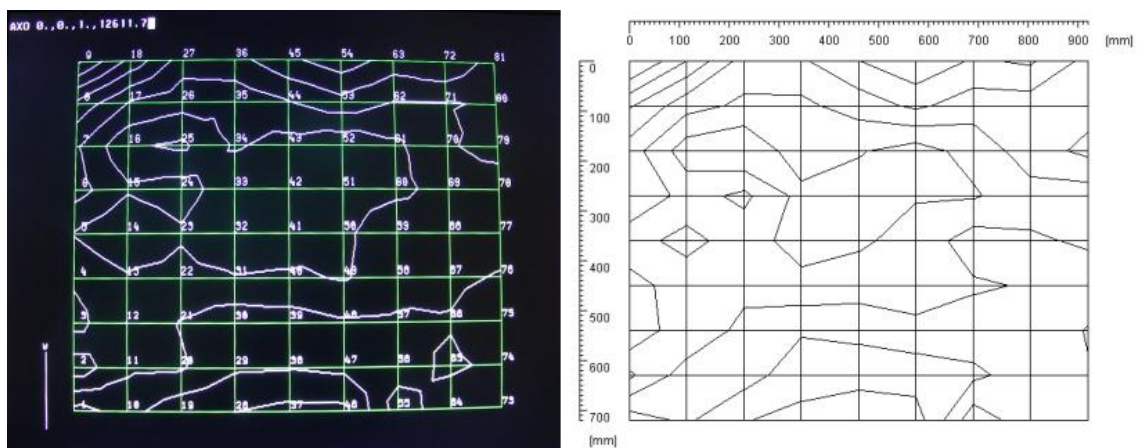
4.2 Testování na reálných naměřených datech

Testování probíhalo ve třech fázích. V první fázi se ve starém programu zobrazily vizualizace naměřených dat. Ve druhé se udělalo totéž, ale v nové verzi programu. A nakonec se ve třetí fázi vizualizace porovnali.

Bohužel stará verze programu nepodporuje snímání obrazovky, proto jsou uvedené obrázky fotkami monitoru počítače.

4.2.1 Kontrolní deska

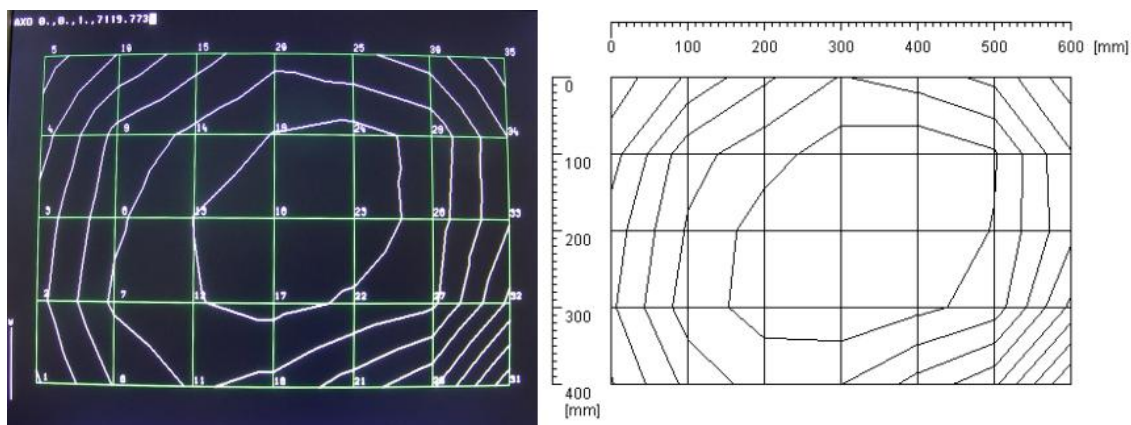
První ukázkou je kontrolní deska měřená naposledy v roce 2008. Její rozměry jsou 920 x 720 mm, měřená síť byla zvolena 8 x 8 tedy 115 x 90 mm. Citlivost libely při měření byla II (2), tedy, tisícinny mm/m.



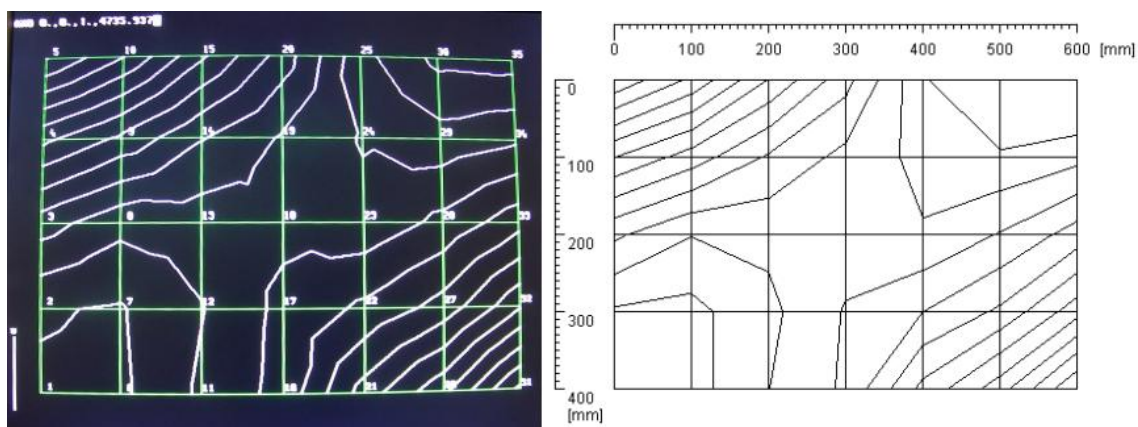
Obrázek 46: Porovnání vizualizace staré a nové verze programu pro kontrolní desku

4.2.2 Porovnávací deska č. 2 a č. 3

Obě tyto desky byly naposledy přeměřované v roce 1997. Rozměry obou desek se shodují. Měří 700 x 500 mm, ale měřené byly pouze na síti 600 x 400 mm, rozdělené na 6 x 4 částí, tedy 100 x 100 mm. Citlivost libely byla u obou měření nastavena na II (2).



Obrázek 47: Porovnání vizualizace staré a nové verze programu pro desku č. 2



Obrázek 48: Porovnání vizualizace staré a nové verze programu pro desku č. 3

U všech třech případů je vidět, že se od sebe vizualizace liší. Zprv je to způsobeno tím, že v novém programu má vždy levý dolní roh výšku 0, to usnadňuje vizualizaci v 3D. A dalším důvodem je to, že jsou vrstevnice zobrazeny jako lineární lomená čára, viz 3.4.1.2.

5 Závěr

Jak již bylo napsáno v úvodu, tato práce vznikla kvůli nutnosti aktualizovat stávající program, který byl používán pro výpočet a vizualizaci rovinnosti desek.

V první řadě nás práce seznámila s tím, co to vlastně vizualizace je, proč je dobré ji používat a kde všude se s ní můžeme setkat. Dále je zde zmínka o barvách a jejich použití ve vizualizačních metodách k rozlišení zobrazovaných hodnot. Tyto metody se využívají jak v kartografii, tak i v jiných odvětvích.

V práci jsou popsány vizualizační metody, které se používají pro zobrazování nerovnosti povrchů, ať v technických aplikacích nebo například na mapách. Mezi nejdůležitější techniky patří vykreslování vrstevnic, zobrazení výškové mapy povrchu a trojrozměrné zobrazení měřené sítě.

Vizualizační metody byly otestovány na umělých i reálných datech. Umělá data odhalila slabiny i výhody některých technik. Například nevýhodou zobrazení odchylek normál povrchů je to, že pro více měřených desek můžeme získat stejné zobrazení a je tedy nutné použít jinou vizualizaci pro zjištění přesného tvaru. Naproti tomu je jeho obrovská výhoda při zobrazení extrémů měřené desky. Při tomto testu se navíc ukázala být šedo-červená barevná paleta velmi užitečnou. Dokáže dobře oddělit nejnižší hodnoty od zbylých hodnot. Při jiném testu, na zobrazení výškové mapy, se osvědčila žluto-modrá paleta, která díky neutrálnímu středu, dokáže velmi dobře rozlišit výšky a hloubky v měřené síti.

Do programu Libela by v budoucnu mohly být implementovány další vizualizační metody, které by rozšiřovaly nebo upravovaly stávající vizualizační metody.

Přehled zkratk

3D – „three-dimensional space“, „trojdimenzionální“, „trojrozměrný“ označuje svět, který je možné popsat třemi směry

CT – počítačová tomografie, využití v oblasti medicíny

E^2 – dvojrozměrný prostor

E^3 – trojrozměrný prostor

MRI – magnetická rezonance, využití v oblasti medicíny

RGB – barevný model, který obsahuje tři základní barvy červenou (Red), zelenou (Green) a modrou (Blue)

Literatura

[DEF] DEFLORIANI, Leila, ed. a SPAGNUOLO, Michela, ed. *Shape analysis and structuring*. Berlin: Springer, c2008. xvi, 296 s., 18 s. obr. příl. Mathematics and visualization. ISBN 978-3-540-33264-0.

[GRIMP] GRIMPLINIOVÁ, Marie. *Stručný přehled propagace a aranžování: Pro žáky SOŠ a SOU obchodní*. Plzeň, 2003.

[HEARN] HEARNSHAW, Hilary M., ed. a UNWIN, David J., ed. *Visualization in geographical information systems*. Chichester: John Wiley & Sons, c1994. xv, 243 s., [16] s. barev. obr. příl. ISBN 0-471-94435-1.

[SPENCE] SPENCE, Robert. *Information visualization*. Harlow: Addison-Wesley, c2001. xvii, 206 s. ISBN 0-201-59626-1.

[TELEA] TELEA, Alexandru C. *Data visualization: principles and practice*. Wellesley: A.K. Peters, c2008. ix, 502 s. ISBN 978-1-56881-306-6.

[THEO] THEOHARIS, T. et al. *Graphics & visualization: principles & algorithms*. Wellesley: A.K. Peters, c2008. xv, 752 s. ISBN 978-1-56881-274-8.

[TUFTE] TUFTE, Edward R. *The visual display of quantitative information*. 2nd ed. Cheshire: Graphics Press, c2001. 197 s. ISBN 0-9613921-4-2.

[UHLIR] UHLÍŘ, Karel. *Aplikace radiálních básových funkcí v počítačové grafice a zpracování obrazu = application of radial basis functions in computer graphics and image processing [disertační práce]*. Plzeň: Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd, 2007. xiv, 74 s., 30 s. příl.

[WARD] WARD, Matthew, GRINSTEIN, Georges G. a KEIM, Daniel. *Interactive data visualization: foundations, techniques, and applications*. Natick: A.K. Peters, c2010. xvii, 496 s. ISBN 978-1-56881-473-5.

[WARE] WARE, Colin. *Information visualization: perception for design*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2004. xxvi, 486 s. Morgan Kaufmann series in interactive technologies; 22. ISBN 1-55860-819-2.

[BARVA] *Barvoslepost*. VIDERIS S.R.O. Zrak.cz: Vše co chcete vědět o očích... [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.zrak.cz/ocni-vady/barvoslepost.html>

[BLIND] *What is Color Blindness: Causes, Tests, Types* [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.colour-blindness.com/>

[GIS] *Izolinie*. Geomatika na ZČU v Plzni [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 29. 10. 2007 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/tka/Slides/izolinie.pdf>

[KRIZ] KŘÍŽENECKÝ, Jan. Anaglyf: aneb barevná separace obrazů. Stereograf.eu [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://stereofotograf.eu/navody/anaglyf/>

[OWEN] OWEN, G. Scott. *History of Visualization*. [online]. 11. 2. 1999 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.siggraph.org/education/materials/HyperVis/visgoals/visgoal3.htm>

[PETRICH] *Color-Blindness Simulators*. PETRICH, Loren. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://homepage.mac.com/lpetrich/ColorBlindnessSim/ColorBlindnessSim.html>

Přílohy

Příloha A – Měření a výpočet rovinnosti

Příloha B – Uživatelská příručka programu Libela

Příloha A

Měření a výpočet rovinnosti

1 Úvod

Tento dokument slouží jako popis metody měření a výpočtu rovinnosti desek na pravidelné obdélníkové/čtvercové mřížce.

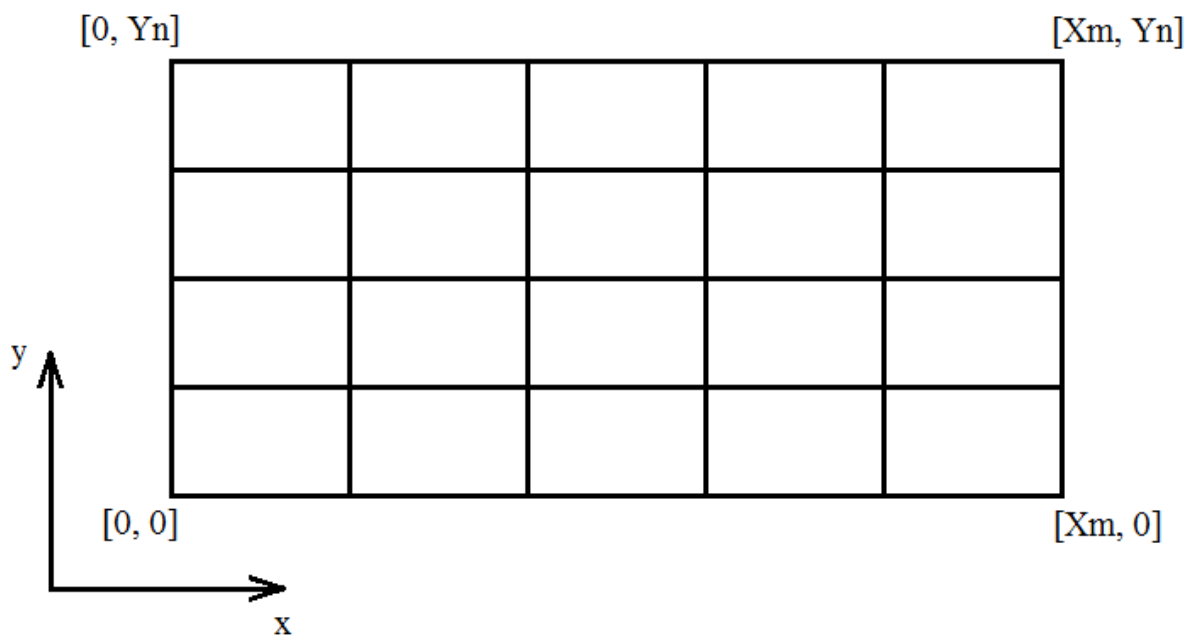
Bude zde popsána metoda měření rovinnosti, matematická metoda pro odvození výšek měřené desky. Tato matematická metoda bude popsána jak teoreticky, tak i prakticky na jednoduchém příkladu. Dále zde bude popsána funkčnost programu a zobrazeny ukázky výstupu programu.

2 Popis měření rovinnosti

Cílem měření je stanovení *z-ových* souřadnic vybraných bodů vyhodnocované oblasti.

2.1 Vyhodnocovaná oblast

Vyhodnocovanou oblastí je obdélník v rovině os x a y . Jeho strany jsou s těmito osami rovnoběžné a mají rozměry X_m a Y_n . Levý dolní roh vyhodnocované oblasti má souřadnice $[0, 0]$.



Obr. 1: vyhodnocovaná oblast

Vyhodnocovaná oblast je pokryta pravidelnou obdélníkovou (čtvercovou) sítí bodů podle obrázku 1. Ve směru osy x jsou strany obdélníků děleny na m úseků a ve směru osy y na n úseků. Vyhodnocovaná oblast tedy obsahuje $(m+1)*(n+1)$ bodů.

2.2 Síť měření

Pro pravidelnou síť měření platí následující vlastnosti:

- a) Tato síť nemusí obsahovat všechny body vyhodnocované oblasti.
- b) Z každého uzlu sítě vychází nanejvýše 4 hrany, kromě uzlů na stranách vyhodnocované oblasti a v jejich rozích (dostatečné pro účely programu).
- c) Síť nemusí obsahovat všechny hrany mezi (sousedními) uzly.
- d) Tato síť je souvislá, to znamená, že v ní pro každé dva uzly V_1 a V_2 existuje alespoň jedna cesta z V_1 do V_2 .
- e) V této síti se mohou objevit smyčky, to znamená, že z některých uzlů existuje takový sled (alespoň 4 hran), který končí ve svém počátečním bodě.

2.3 Ohodnocení hran sítě

Hrany e_{ij} pravidelné obdélníkové sítě jsou ohodnoceny hodnotou δ_{ij} , která je dána rozdílem z -ových souřadnic sousedních bodů V_i a V_j . Platí tedy:

$$\delta_{ij} = -\delta_{ji}$$

Z toho plyne, že je zapotřebí v některých souvislostech respektovat orientaci hran.

2.4 Součet ohodnocení hran ve smyčkách

Pokud síť obsahuje smyčky, platí, že orientovaný součet hran ve smyčce je roven nule. Pod orientovaným součtem se rozumí postup, kdy se smyčka obchází ve zvoleném směru a hodnoty souhlasně orientovaných hran se přičítají, zatímco hodnoty hran opačně orientovaných se odečítají. Tento postup je znám jako *zobecněný II. Kirchhoffův zákon* v teorii grafů.

2.5 Postup měření

Postup měření je následující:

- a) Na vyhodnocované oblasti se zvolí vhodná síť bodů (se známými x -ovými a y -ovými souřadnicemi).
- b) Zvolí se pravidelná síť splňující výše uvedené vlastnosti.
- c) Na hrany pravidelné sítě se postupně pokládá libela (měřicí přístroj). Naměřené diference se zaznamenávají. Přitom se musí respektovat orientace hrany, která musí odpovídat orientaci libely.
- d) Z naměřených diferencí se odvodí dále popsanou matematickou metodou z -ové souřadnice uzlů sítě (relativně ke zvolenému bodu).

3 Matematická metoda odvození z -ových souřadnic uzlů

Vstupní data, tj. diference na jednotlivých hranách sítě, byla získána měřením. Je proto nutné předpokládat, že jsou zatížena chybami měření ε_{ij} . V důsledku toho ovšem neplatí pro tato vstupní data výše uvedený II. Kirchhoffův zákon.

Kdyby nebyla vstupní data zatížena chybami, bylo by možné postupně projít hrany a jejich koncovým bodům přidělit z -ovou souřadnici podle již známých hodnot pro počáteční body hran a podle diference na hranách. Předpokladem je ovšem vhodné topologické uspořádání hran, zaručující, že při odvozování z -ové souřadnice pro koncový bod hrany je pro počáteční bod již známa, přičemž libovolný bod může být zvolen jako první a hodnota jeho z -ové souřadnice se volí (nulová). Obecně proto existuje pro každou síť více vhodných uspořádání hran. Přitom, platí-li předpoklad o nulovém součtu ohodnocení hran ve smyčkách, platí rovněž, že výsledná hodnota přidělená uzlům ve smyčkách není závislá na pořadí, v jakém jsou hodnoty uzlům přidělovány.

V reálné situaci s předpokládanými chybami měření je nutné v prvním kroku provést takovou korekci naměřených dat, aby platil nulový součet hran ve smyčkách.

Druhým krokem je poté nalezení vhodného topologického uspořádání hran, které umožní ve třetím kroku dopočtení *z-ových* souřadnic uzlů.

Poznámka:

Když zvolená pravidelná síť nespĺňuje vlastnost d) uvedenou v odstavci 2.2, tj. není souvislý, nelze poté nalézt takové uspořádání hran, které by umožnilo dopočtení *z-ových* souřadnic uzlů.

3.1 Korekce naměřených dat na hranách

Úvodem k tomuto odstavci je nutné zdůraznit, že pro následující úvahy jsou podstatné pouze hrany sítě, které leží na smyčkách. Ostatní hrany se ze sítě pro tento účel odstraňují.

Předpokládejme, že hodnotu hrany e_{ij} můžeme napsat ve tvaru:

$$e_{ij} = \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

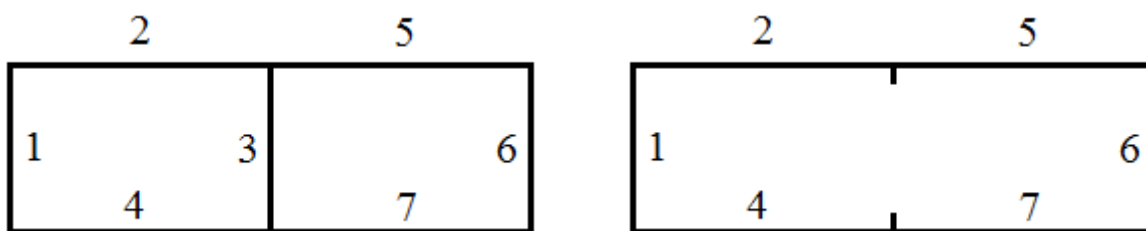
Přičemž hodnota δ_{ij} byla získána měřením a ε_{ij} je zatím neznámý opravný koeficient zajišťující nulový součet ve smyčkách.

V každé smyčce poté platí:

$$\sum \varepsilon_{ij} = - \sum \delta_{ij}$$

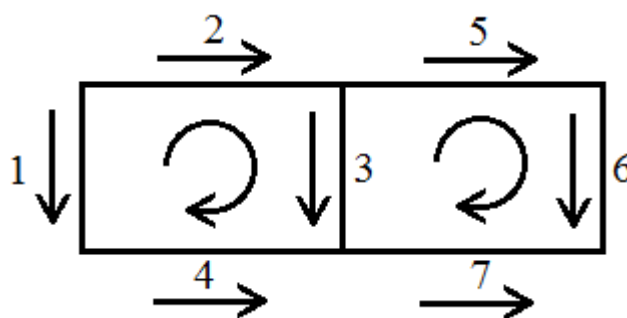
To vede na soustavu rovnic pro neznámé ε_{ij} . Předtím, než uvedeme postup vytvoření soustavy rovnic, považujeme za potřebné se zmínit o dvou obecných vlastnostech.

Pokud síť obsahuje dvě smyčky, které mají společnou hranu, obsahuje síť i smyčku třetí, která se skládá ze všech hran obou smyček kromě hrany společné, to je vidět na obrázku 2.



Obr. 2: smyčky a společná hrana

Předpokládáme-li obcházení smyček ve směru hodinových ručiček a orientaci hran zleva doprava resp. shora dolů, jako je uvedeno na obrázku 3, získáváme následující soustavu rovnic.



Obr. 3: orientace hran

$$\begin{array}{llll}
 I. & -\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 & = & -\sum \delta_{1234} \\
 II. & & -\varepsilon_3 + \varepsilon_5 + \varepsilon_6 - \varepsilon_7 & = -\sum \delta_{3567} \\
 III. & -\varepsilon_1 + \varepsilon_2 & -\varepsilon_4 + \varepsilon_5 + \varepsilon_6 - \varepsilon_7 & = -\sum \delta_{124567}
 \end{array}$$

Zběžný pohled na tuto soustavu odhalí, že třetí rovnice je součtem prvních dvou. Vyplývá z toho poznatek, že stejně tak, jako lze mluvit o lineárně závislých rovnicích, lze nalézt i lineárně závislé smyčky a pro vytvoření soustavy rovnic mají smysl pouze smyčky nezávislé.

Druhý poznatek vyplývá ze skutečnosti, že po vypuštění třetí rovnice máme dvě rovnice pro sedm neznámých, což je opět soustava neřešitelná. Intuitivně vycítíme praktický důsledek, že uvedený aparát neumožní stanovit opravný koeficient různý pro

všechny hrany. Bude proto nutné dodefinovat vhodně další závislosti a tak snížit počet neznámých.

Pro sestavení soustavy rovnic definujeme pro každou smyčku smyčkový tok I_S a předpokládejme, že pro hranu e_{ij} patřící pouze smyčce S , platí $\varepsilon_{ij} = I_S$. Pokud hrana e_{ij} patří současně n smyčkám S, T, \dots , platí $\varepsilon_{ij} = (I_S + I_T + I_U + \dots)/n$. Při opačné orientaci smyčky a hrany, je nutné hodnotu smyčkového toku negovat.

Pro výše uvedený příklad tedy můžeme napsat:

$$-\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = -\varepsilon_4 = I_{1234}$$

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_6 = -\varepsilon_7 = I_{3567}$$

$$\varepsilon_3 = (I_{1234} - I_{3567})/2$$

A nahradit výše uvedenou soustavu rovnic:

$$I. \quad 3.5 I_{1234} - 0.5 I_{3567} = -\sum \delta_{1234}$$

$$II. \quad -0.5 I_{1234} + 3.5 I_{3567} = -\sum \delta_{3567}$$

Tím dostáváme soustavu n rovnic pro proměnné I_i , pro $i = 1, \dots, n$ kde n je počet nezávislých smyček, díky nezávislosti smyček je matice soustavy regulární. Dále je tato matice symetrická a prvky na diagonále jsou v absolutní hodnotě větší než ostatní prvky. Pro větší úlohy je matice soustavy velmi řídká.

Po vyřešení soustavy se provede zpětná substituce, čímž se získají opravné koeficienty ε_{ij} pro jednotlivé hrany. Zvolená substituce rozděluje celkovou chybu na smyčce „pokud možno“ rovnoměrně mezi hrany smyčky a přes společné hrany i na další smyčky, avšak neumožňuje zpětně identifikovat hranu, která se na chybě podílí největší měrou. Velká hodnota opravného koeficientu ε_{ij} vyhodnoceného na hraně e_{ij} tedy nemusí znamenat, že právě na této hraně došlo k největší chybě měření.

3.2 Dopočítání z-ových souřadnic uzlů

Postupně pro všechny hrany podle daného uspořádání se dopočítávají z -ové souřadnice pro koncové body jako součet z -ové souřadnice výchozího bodu hrany, naměřené difference a vypočteného opravného koeficientu.

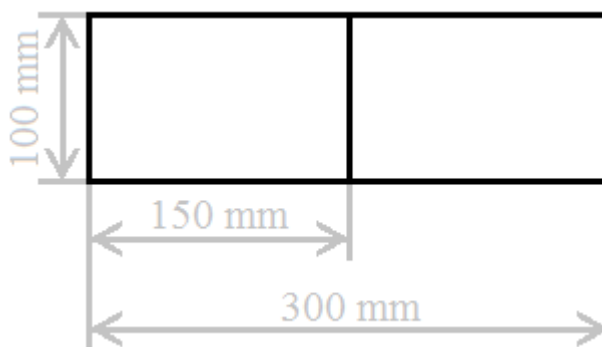
4 Praktický příklad

Ukázkový příklad výpočtu pomocí matematické metody ukáží na jednoduchých vymyšlených vstupních datech.

4.1 Vstupní data

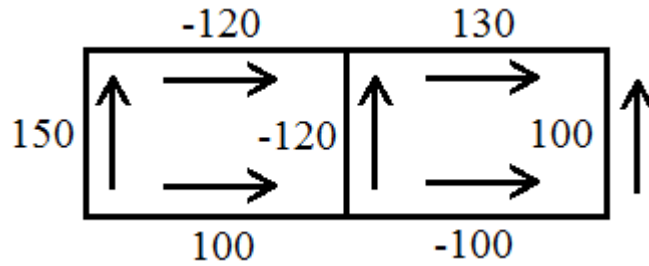
Ukázková vstupní data byla vymyšlená a byla do nich zanesená chyba měření, abych mohl v průběhu výpočtu ukázat korekci naměřených dat.

Jak je vidět na obrázku 4, vyhodnocovaná oblast měření je tvořena pravidelnou sítí obsahující dva obdélníky. Rozměr jednoho obdélníku jsem volil na šířku 150 mm a na výšku 100 mm . Celkový rozměr vyhodnocované oblasti je tedy $300\text{ mm} * 100\text{ mm}$.



Obr. 4: rozměry vyhodnocované oblasti

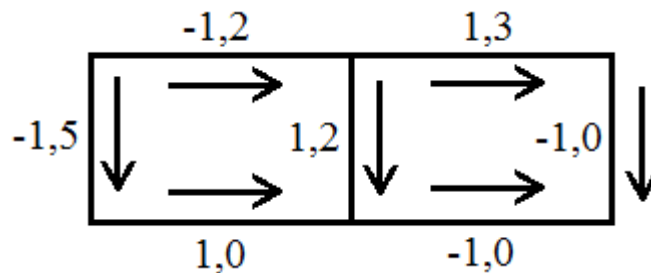
Na obrázku 5 vidíme, v jakých směrech byla přikládána libela na jednotlivé hrany (důležité pro ohodnocení hran sítě). Výpočet budu ukazovat na přesnosti libely l , tzn. naměřené hodnoty odpovídají rozdílu výšek v setinách mm/m .



Obr. 5: "naměřená" vstupní data

4.2 Úprava vstupních dat

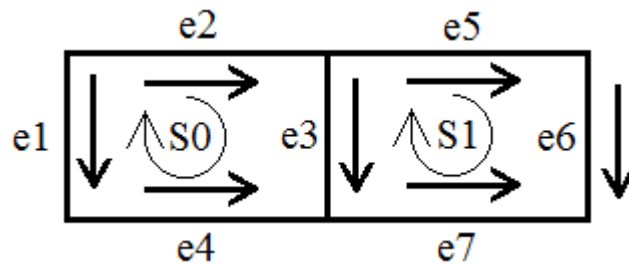
Pro potřeby výpočtu je nejprve nutné upravit vstupní data tak, aby orientace hran odpovídala orientaci použité ve výpočtu (otoční orientace vertikálních hran, tzn. změna znaménka ohodnocení hrany), a dále je nutné převést naměřené hodnoty hran na stejné jednotky sklonu mm/m (pro přesnost libely 1 je nutné všechny ohodnocení hran vydělit hodnotou 100). Tato úprava je vidět na obrázku 6.



Obr. 6: úprava vstupních dat

4.3 Ohodnocení jednotlivých hran, chyba ve smyčkách

Nyní lze můžeme napsat vztahy pro ohodnocení jednotlivých hran podle vzorce $e_i = \delta_i + \varepsilon_i$. Číslování hran je uvedeno na obrázku 7, stejně tak směr obcházení jednotlivých smyček.



Obr. 7: číslování hran a směr smyček

Ohodnocení hran tedy bude následující:

$$e_1 = -1,5 + \varepsilon_1$$

$$e_2 = -1,2 + \varepsilon_2$$

$$e_3 = 1,2 + \varepsilon_3$$

$$e_4 = 1,0 + \varepsilon_4$$

$$e_5 = 1,3 + \varepsilon_5$$

$$e_6 = -1,0 + \varepsilon_6$$

$$e_7 = -1,0 + \varepsilon_7$$

Chyba na jednotlivých smyčkách je rovna součtu naměřených sklonů po směru dané smyčky:

$$S_0 = \sum \delta_{1234} = -\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \delta_4 = 1,5 - 1,2 + 1,2 - 1,0 = 0,5$$

$$S_1 = \sum \delta_{3567} = -\delta_3 + \delta_5 + \delta_6 - \delta_7 = -1,2 + 1,3 - 1,0 + 1,0 = 0,1$$

4.4 Vypočtení opravných koeficientů ε

Dále budeme pokračovat podle odstavce 3.1 *Korekce naměřených dat na hranách*, rovnice pro opravné koeficienty budou stejné jako v daném odstavci a dostáváme tedy soustavu dvou rovnic o dvou neznámých, ze které dopočteme smyčkové toky.

$$I. \quad 3,5 I_{1234} - 0,5 I_{3567} = -\sum \delta_{1234} = -S_0 = -0,5$$

$$II. \quad 0,5 I_{1234} + 3,5 I_{3567} = -\sum \delta_{3567} = -S_1 = -0,1$$

Matice pro tuto soustavu rovnic vypadá následovně:

$$\left[\begin{array}{cc|c} 3,5 & -0,5 & -0,5 \\ -0,5 & 3,5 & -0,1 \end{array} \right] \text{ po úpravě } \left[\begin{array}{cc|c} 3,5 & -0,5 & -0,5 \\ 0 & \frac{24}{7} & -\frac{6}{35} \end{array} \right]$$

Dostáváme tedy výsledky pro I_{1234} a I_{3567} :

$$I_{1234} = -0,15$$

$$I_{3567} = -0,05$$

Nyní můžeme dopočítat opravné koeficienty podle rovnic uvedených v odstavci

3.1 *Korekce naměřených dat na hranách.*

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = -\varepsilon_4 = I_{1234} = -0,15$$

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_6 = -\varepsilon_7 = I_{3567} = -0,05$$

$$\varepsilon_3 = \frac{I_{1234} - I_{3567}}{2} = \frac{-0,15 + 0,05}{2} = -0,05$$

Hodnoty opravných koeficientů tedy budou:

$$\varepsilon_1 = 0,15$$

$$\varepsilon_2 = -0,15$$

$$\varepsilon_3 = -0,05$$

$$\varepsilon_4 = 0,15$$

$$\varepsilon_5 = -0,05$$

$$\varepsilon_6 = -0,05$$

$$\varepsilon_7 = 0,05$$

Po dopočtení opravných koeficientů můžeme vypočítat nové sklony na hranách, které nám již zaručí nulový smyčkový tok. Výsledek zobrazen na obrázku 8.

$$e_1 = -1,5 + 0,15 = -1,35$$

$$e_2 = -1,2 - 0,15 = -1,35$$

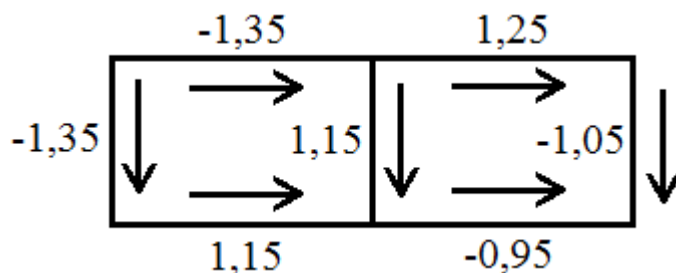
$$e_3 = 1,2 - 0,05 = 1,15$$

$$e_4 = 1,0 + 0,15 = 1,15$$

$$e_5 = 1,3 - 0,05 = 1,25$$

$$e_6 = -1,0 - 0,05 = -1,05$$

$$e_7 = -1,0 + 0,05 = -0,95$$



Obr. 8: výsledné sklony na hranách

4.5 Dopočetní z-ových souřadnic uzlů vyhodnocované oblasti

Když již máme vypočtené nové sklony hran mezi jednotlivými uzly, můžeme lehce dopočítat z-ové souřadnice jednotlivých uzlů jako součet z-ové souřadnice výchozího bodu hrany a nově spočteného sklonu. Je nutné dávat pozor na orientaci hran a v případě procházení hrany v opačném směru než je její orientace, je nutné změnit znaménko ohodnocení hrany.

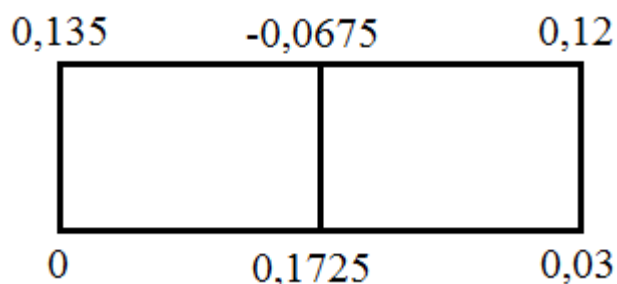
Ještě před samotným dopočítáním výšek uzlů je nutné zvolit některý z uzlů za výchozí a dát mu předem danou výšku, od které se bude dopočítávat zbytek. Zde se volí jako výchozí uzel spodní levý roh vyhodnocované oblasti a jeho výška se nastavuje na 0.

Výpočet nové výšky se provádí podle zde uvedeného vzorečku. Sklony hran jsou uvedené v rozdílu mm/m a rozměry (šířka a výška) jednotlivých obdélníků sítě v mm. Je tedy nutné převést rozměry sítě na metry.

Pro uzly i a j , kde i je výchozí uzel a j je koncový uzel hrany, vypadá vzoreček pro výpočet z-ové souřadnice následovně:

$$z_j = z_i + e_{ij} * \frac{\text{délka hrany [mm]}}{1000}$$

Výsledné z-ové souřadnice jsou zobrazeny na obrázku 9.



Obr. 9: výsledné z-ové souřadnice

4.6 Vyrovnání sítě

Před vyhodnocováním odchylky rovinnosti měřené desky (tzn. rozdíl minimální a maximální výšky) je nutné měřenou síť vyrovnat. Vyrovnání měřené desky je důležité, protože celá deska resp. její horní plocha, kterou jsme měřili, mohla být nějakým způsobem skloněna. Horní plocha desky většinou není v průběhu měření vodorovně, ani to není možné, díky přesnosti měřící libely. Po vyrovnání se nám teprve zobrazí nerovnosti plochy.

Vyrovnání se provádí pomocí metody nejmenších čtverců, která proloží naměřenou síť rovinou. Poté se spočítá odchylka proložené roviny od roviny XY. A následně se naměřená síť transformuje tak, aby byla proložená rovina rovnoběžná s rovinou XY.

Postup výpočtu je následovný. Nejprve si pro každý uzel sítě vytvoříme rovnici:

$$ax_i + by_i + d = -z_i$$

Poté tyto rovnice převedeme do maticového počtu:

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -z_1 \\ -z_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \text{tedy} \quad \mathbb{A} \cdot \mathbf{m} = \mathbb{Z}$$

A následně můžeme metodou nejmenších čtverců dopočítat parametry proložené plochy:

$$\mathbb{A} \mathbb{A}^T \mathbf{m} = \mathbb{A}^T \mathbb{Z}$$

Poté již stačí dopočítat odchylku této roviny od roviny XY a měřenou síť transformovat.

5 Závěr

Matematická metoda pro odvození z-ových souřadnic je stejná jako metoda použita ve starém programu Libela. Nový program s touto metodou dokáže v pořádku pracovat a výsledky programu odpovídají skutečnosti (testováno ručním přepočítáním na pokusných příkladech).

Příloha B

Uživatelská příručka programu Libela

Překlad a sestavení programu

Pro překlad programu je nutné mít na počítači nainstalovaný sestavovací nástroj Apache Ant. Lze jej stáhnout z webové adresy <http://ant.apache.org/bindownload.cgi>. Jelikož je tento nástroj kompletně vytvořen v programovacím jazyku Java, je nutné mít na počítači nainstalované její běhové prostředí. Javu lze stáhnout ze stránek <http://www.oracle.com/cz/technologies/java/index.html>.

Pokud máme v počítači nainstalované všechny potřebné komponenty nutné pro překlad, můžeme se přesunout k sestavení programu. Přepneme se do složky Libela, která obsahuje složky bin, doc, jar a src. V této složce se nachází soubor build.bat. Po jeho spuštění dojde ke spuštění Ant skriptu build.xml s cílem distjar, který přeloží zdrojové soubory a vytvoří z nich spustitelný jar soubor. Výsledný spustitelný soubor je uložen ve složce jar a nese název Libela_RRRRMMDDhhmmss.jar (R – rok, M – měsíc, D – den, h – hodiny, m – minuty, s – sekundy).

Spuštění programu Libela

Program lze spustit jak pod operačním systémem Windows, tak i pod operačním systémem Linux. Jeho vývoj byl prováděn na systému Windows 7, testování probíhalo na systémech Windows XP, Vista, 7 a Ubuntu. Při spuštění na operačním systému Linux může docházet k chybám ve výpisu textů, způsobených odlišným zobrazováním fontů.

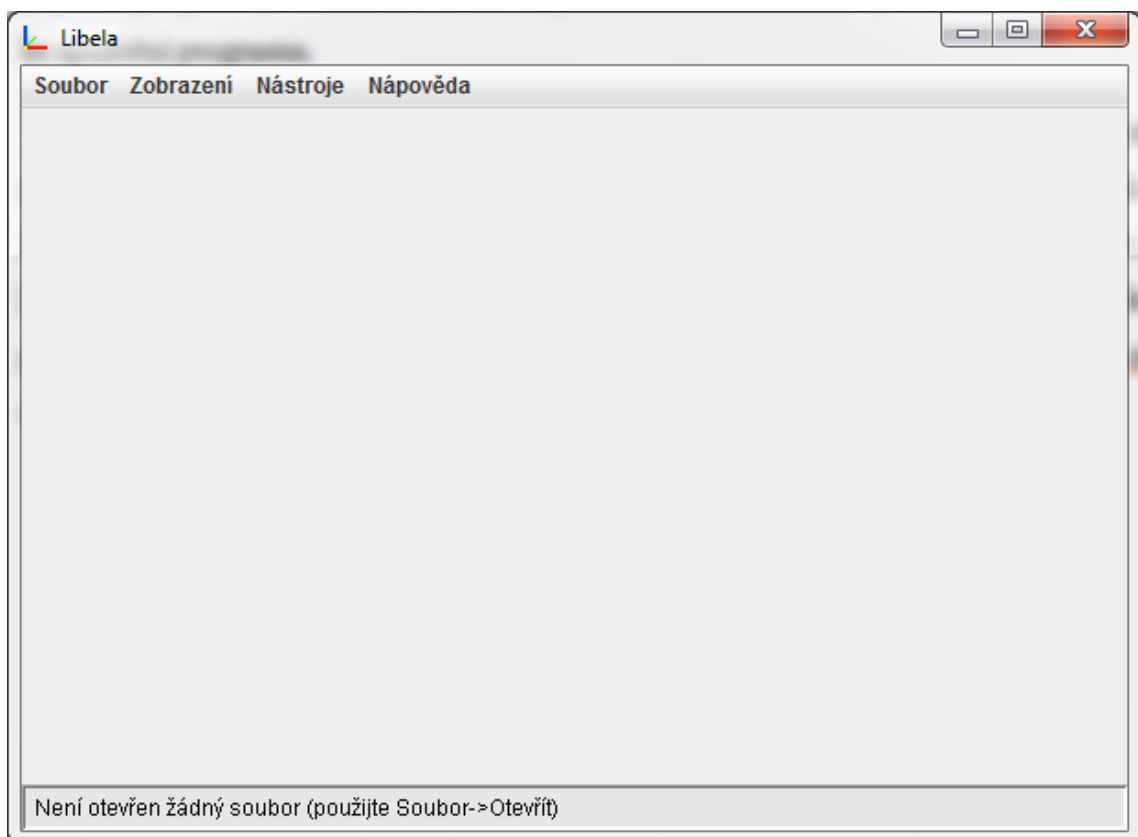
Program Libela je napsán v programovacím jazyce Java a pro jeho spuštění je nutné mít na počítači nainstalované její běhové prostředí. Pokud toto běhové prostředí na počítači nainstalované nemáme, je nutné ho stáhnout z webové adresy <http://www.oracle.com/cz/technologies/java/index.html> a nainstalovat. Dále je nutné na počítači, na kterém chceme tento program spustit mít nainstalovanou knihovnu Java3D. Ta je použita pro 3D vizualizace. Tato knihovna se dá stáhnout ze stránky <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-138252.html>. Bohužel

z této adresy nelze stáhnout knihovnu pro operační systém Linux. V operačním systému Ubuntu lze ale využít služby Centrum softwaru pro Ubuntu, kde lze vyhledat a nainstalovat tuto knihovnu.

Další nutnou podmínkou pro úspěšné spuštění programu je mít ve složce se souborem Libela.jar umístěny následující soubory: icon.png (ikona programu), libela.properties (konfigurační soubor programu) a texts_cs_CZ.properties (české texty popisků programu). Pokud se zde některý ze souborů nenachází (kromě ikony) nedojde ke spuštění programu.

Spuštění programu je poté velice jednoduchou záležitostí. Stačí v souborovém manažeru otevřít složku, ve které je program Libela umístěn a spustit buď přímo soubor Libela.jar dvojitým kliknutím, nebo spustit soubor Libela.bat. Spouštění přes soubor Libela.bat má svojí výhodu v tom, že se do složky \log vytvoří logovací soubor programu. Pokud by v programu nastala nějaká neočekávaná chyba, v logovacím souboru by tato chyba byla vypsána a lépe by se pak dala opravit.

Po úspěšném spuštění uvidíme hlavní okno programu, viz Obrázek 1 1.

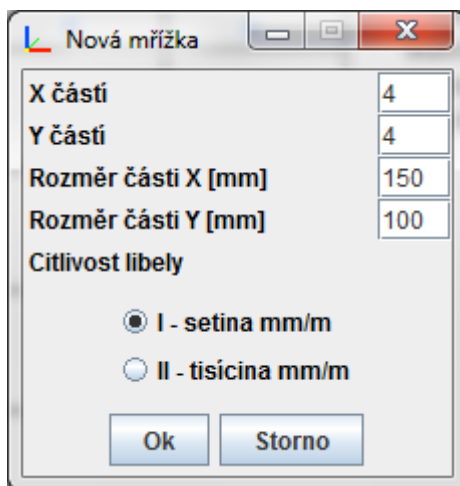


Obrázek 1: Hlavní okno programu Libela

Ovládání programu

Vytvoření nové měřené sítě

Pro vytvoření nové sítě klikneme myší na nabídku Soubor – Nový (CTRL + N). Vyskočí nám nové okno, do kterého zadáme parametry naší sítě, viz obrázek 2.



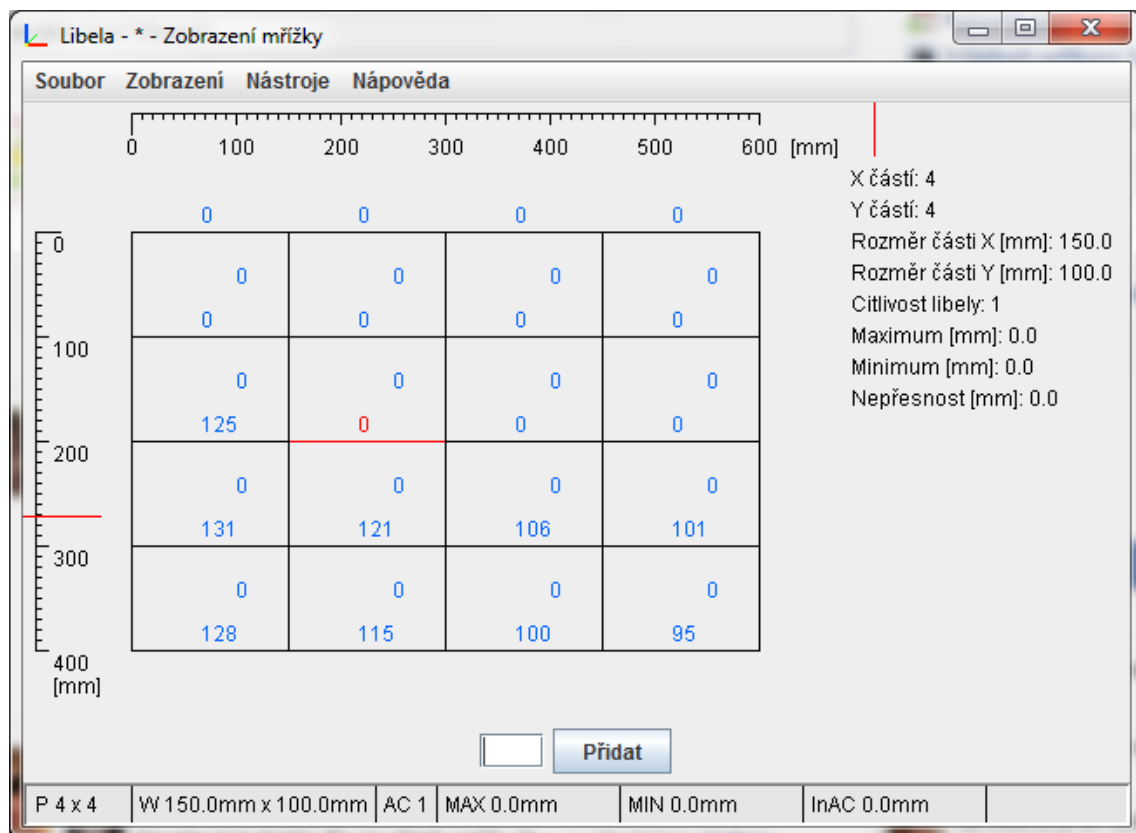
Obrázek 2: Vytvoření nové sítě

Vstupní pole „X částí“ a „Y částí“ označují, kolik obdélníkových polí se nachází na měřené síti ve směru osy X a Y. Další dvě vstupní pole jsou rozměry těchto částí v mm. Posledním parametrem pro vytvoření nové mřížky je citlivost libely. Označuje, jaká přesnost byla na libele nastavena, když probíhalo měření. Stisknutím tlačítka Ok nebo zmačknutím klávesy Enter dojde k vytvoření a zobrazení nové sítě. Vedle zobrazené sítě jsou také vidět základní parametry mřížky (velikost, rozměry, citlivost libely, minimální a maximální výška mřížky a jejich rozdíl). Tytéž informace můžeme nalézt i v informační oblasti na úplném spodku okna programu.

Se sítí můžeme pohybovat stiskem pravého tlačítka myši a posunem myši. Zvětšení resp. zmenšení mřížky je umožněno rolováním kolečka vzhůru resp. dolů. Pokud by nám omylem zmizela síť z obrazovky, lze ji přesunout zpět možností Nástroje – Posunout mřížku do počátku (CTRL + C).

Dvojitým kliknutím levého tlačítka myši nad hodnotou u hrany lze označit tuto hodnotu a zadat novou hodnotu této hrany do vstupního pole vespod programu. Po

vyplnění hodnoty stiskem tlačítka Přidej nebo zmačknutím klávesy Enter nastavíme tuto hodnotu sklonu ke hraně. Automaticky se nám označí další následující hrana, pro snadnější vyplňování hodnot. Ukázka z programu na obrázku 3.



Obrázek 3: Zobrazení mřížky a vyplňování sklonů na hranách

Změny zobrazení měřené desky

V menu Zobrazení máme na výběr z šesti druhů vizualizačních metod. Aktuálně zobrazovaná metoda je vždy deaktivována. Po prvním přepnutí ze zobrazení mřížky na některé jiné dojde k výpočtu z-ových souřadnic uzlů. Tyto souřadnice se již nemění, dokud nedojde ke změně některého sklonu na hraně mřížky, nebo k vyrovnání desky pomocí metody nejmenších čtverců.

Vyrovnání měřené desky je důležité, protože celá deska resp. její horní plocha, kterou jsme měřili, mohla být nějakým způsobem skloněna. Po vyrovnání se nám teprve zobrazí přesné nerovnosti plochy. Možnost vyrovnání najdeme v menu Nástroje – Vyrovnání pomocí nejmenších čtverců (CTRL + V). Pokud chceme vrátit zpět původní

z-ové souřadnice uzlů, zvolíme možnost Nástroje – Vypočítat Z-ové souřadnice (CTRL + Y).

U zobrazení, kde je využito barevné sekvence, lze barvy této sekvence měnit v menu Nástroje – Barevné palety. Je možné nastavit i počet barev v paletě Nástroje – Barevné palety – Počet barev v paletě (CTRL + 0).

Definování uživatelské barevné palety

Program Libela dokáže pracovat s jednou barevnou paletou definovanou uživatelem v konfiguračním souboru libela.properties. Na začátku tohoto textového souboru se nachází její definice. Její formát je vždy stejný, řádek numberOfUsersColors udává počet hlavních barev v paletě, za ním následují jednotlivé barvy číslované od 1 do počtu barev, barva číslo 1 je nejnižší. Barvy se vypisují klasicky ve formátu RGB. Ukázka definice palety:

```
numberOfUsersColors = 3 // počet hlavních barev v barevné paletě
color1 = 0,255,0        // první hlavní barva palety
color2 = 255,255,0     // druhá hlavní barva palety
color3 = 255,0,0       // třetí hlavní barva palety
```

Uložení dat

Ukládat lze do tří typů souborů. Při volbě Soubor – Uložit (CTRL + S) je automaticky ukládáno do formátu MEAS. Binární soubor meas je použit jako hlavní typ souboru pro tento program. Jsou v něm uložena všechna data o vytvořené mřížce, sklony na všech hranách a výšky v jednotlivých uzlech mřížky. Program Libela dokáže tento soubor znovu otevřít pro další práci.

Pokud chceme data uložit do textového souboru txt nebo do obrázku png, zvolíme Soubor – Uložit jako.... Textový soubor slouží pouze k uchování informací o měřené síti. Program Libela nepodporuje jeho znovuotevření. Při volbě uložení do obrázku dojde k sejmutí okna programu (resp. vizualizace mřížky) a jeho uložení.

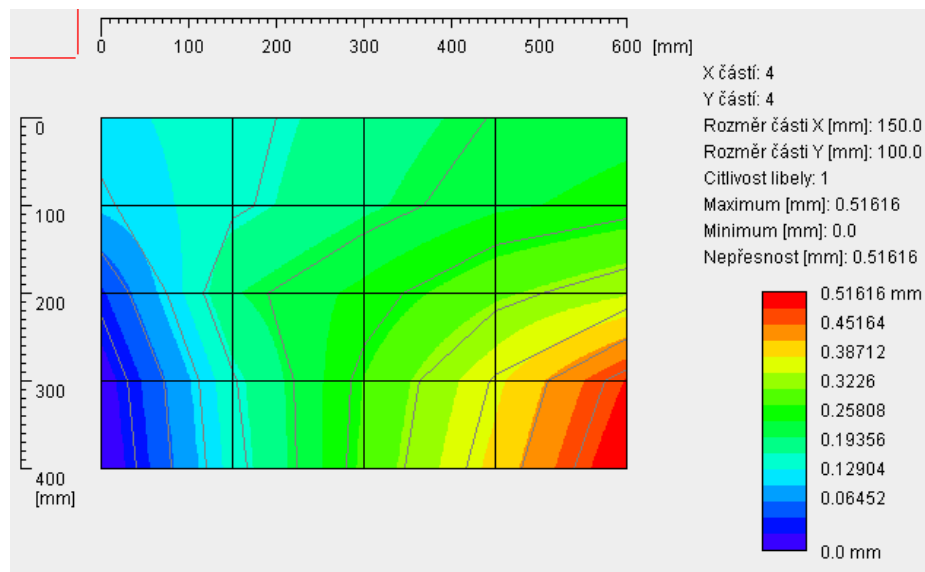
Ukázka formátu textového souboru:

```
accuracy = 1
partX = 4
partY = 4
widthX = 150.0
widthY = 100.0

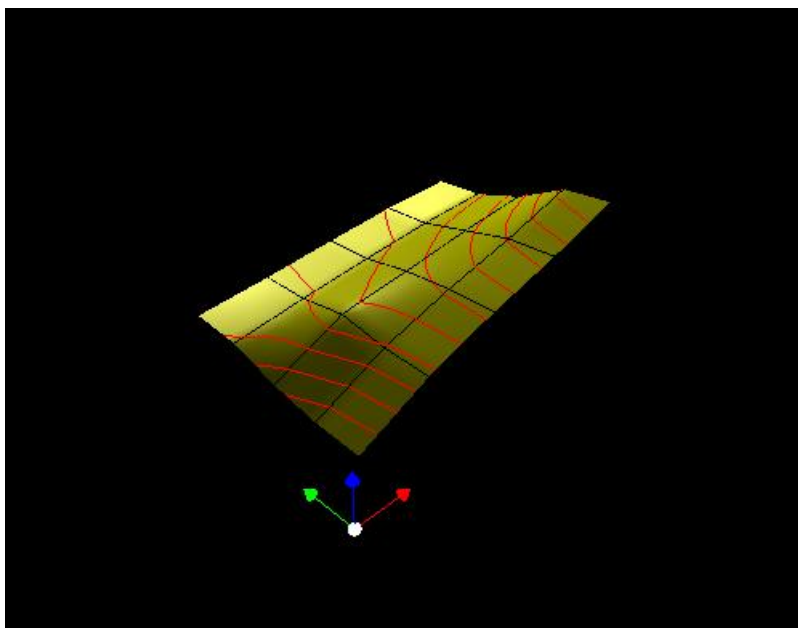
horizontalSlope =
0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0
1.25 0.0 0.0 0.0
1.31 1.21 1.06 1.01
1.28 1.15 1.0 0.95

verticalSlope =
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
```

Ukázky vizualizačních metod uložených v programu Libela.



Obrázek 4: Zobrazení výškové mapy uložené do obrázku PNG



Obrázek 5: 3D zobrazení sítě uložené do obrázku PNG

Otevření souboru

Otevřít soubor lze z menu Soubor – Otevřít (CTRL + O). Program Libela dokáže otevřít pouze binární soubor meas. Jiné formáty souborů nepodporuje.

Změna parametrů konfiguračního souboru

Uživateli je umožněno měnit parametry konfiguračního souboru libela.properties. Změny jsou doporučeny pouze v případě úpravy barevné palety, pokud chce uživatel měnit jiné parametry, měl by dbát na správný formát hodnot, které mění. Jednotlivé parametry v konfiguračním souboru jsou pojmenovány anglickými názvy, které vyjadřují jejich význam.

Seznam klávesových zkratk

CTRL + N – vytvoření nové mřížky

CTRL + O – otevření souboru

CTRL + S – uložení souboru

CTRL + K – ukončení programu

CTRL + Q – zobrazení mřížky

CTRL + W – zobrazení Z-ových souřadnic uzlů

CTRL + E – zobrazení vrstevnic v síti

CTRL + R – zobrazení výškové mapy

CTRL + T – zobrazení odchylek normál povrchu

CTRL + Z – 3D zobrazení

CTRL + C – posunutí mřížky do počátku

CTRL + Y – vypočítání Z-ových souřadnic

CTRL + V – vyrovnání mřížky pomocí metody nejmenších čtverců

CTRL + 1 ... CTRL + 9 – změna barevné palety

CTRL + 0 – změna počtu barev v barevné paletě

CTRL + I – informace o programu

