

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta strojní
Ústav technické matematiky

**MODELOVÁNÍ A ANALÝZA
KŘIVEK A PLOCH OBECNÉHO TVARU
V RHINOCEROS**



Ivana Linkeová

Praha 2022

1 Nástroje analýzy a kontroly návrhu křivek

Bod křivky – Příkaz: *Bod* → Umístění bodu: zapnout *Uchopování objektů: Na křivce* → Vyberte křivku: kliknout na křivku (zaměřovač je omezen na pohyb po křivce) → Umístění bodu: kliknout na křivku do místa, ve kterém chceme nakreslit bod. V místě posledního kliknutí se nakreslí bod jako samostatná entita.

Poznámka: Nástroj *Uchopování uzlů* se netýká uchopení uzlových bodů křivky, ale těch bodů na segmentované křivce, ve kterých se mění analytické vyjádření křivky. Uzlový bod křivky navíc není považován za průsečík, a proto jej nelze uchopit ani pomocí nástroje *Uchopování průsečíků*.

Počáteční bod křivky – Příkaz: *Označit počátek křivky* → Vyberte křivku pro označení počátku: kliknout na křivku → Enter. V počátečním bodě křivky se nakreslí bod.

Koncový bod křivky – Příkaz: *Označit konec křivky* → Vyberte křivku pro označení konce: kliknout na křivku → Enter. V koncovém bodě křivky se nakreslí bod.

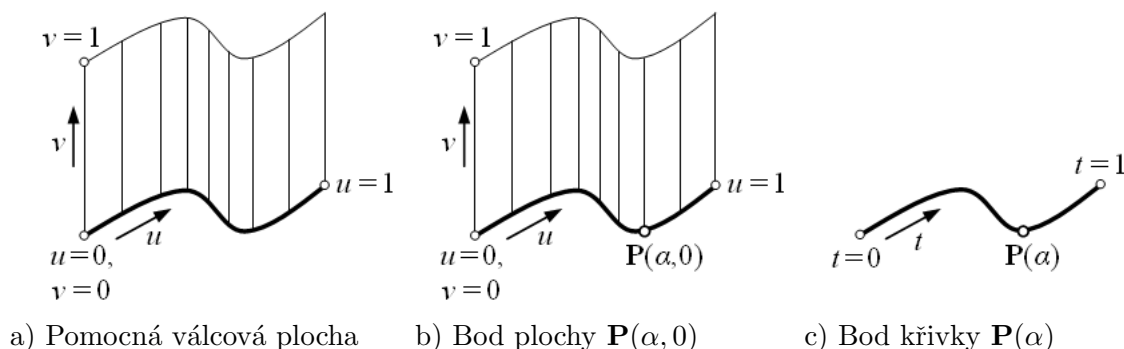
Poznámka: Označení krajních bodů křivky pomáhá určit orientaci křivky.

Bod křivky pro konkrétní hodnotu parametru – Bod na křivce, jehož křivočará souřadnice je předem zvolená hodnota, nelze nakreslit přímo, neboť potřebný příkaz pro křivky není v Rhinu k dispozici. My ale využijeme příkaz *Bod z uv souřadnic*, který je určen pro plochy, a zmíněný nedostatek obejdeme.

Nejprve vytvoříme pomocnou válcovou plochu, jejíž řídicí křivkou je právě ta křivka, na které chceme nakreslit bod $\mathbf{P}(\alpha)$, $\alpha \in [0, 1]$. Příkaz: *Vytáhnout přímo* → Vyberte křivku pro vytažení: kliknout na křivku → Enter → Vzdálenost vytažení: zadat výšku válcové plochy z klávesnice nebo kliknutím. Směr parametru u je podél řídicí křivky válcové plochy, směr parametru v určují površky válcové plochy, viz obr. 1 a).

Potom nakreslíme bod o zvolené křivočaré souřadnici příkazem *Bod z uv souřadnic* → Vyberte plochu pro vyhodnocení: v příkazovém řádku zvolit *VytvořitBod=Ano*, *Normalizovaná=Ano* → kliknout na válcovou plochu → Zadejte hodnotu U mezi 0.0 až 1.0: zadat zvolenou hodnotu α → Enter → Zadejte hodnotu V mezi 0.0 až 1.0: zadat 0 → Enter, viz obr. 1 b). V bodě křivky $\mathbf{P}(\alpha)$ se nakreslí bod jako samostatná entita.

Pomocnou válcovou plochu nakonec vymažeme, viz obr. 1 c).



Obrázek 1: Konstrukce bodu $\mathbf{P}(\alpha)$ na křivce $\mathbf{P}(t)$, $t \in [0, 1]$

Kartézské souřadnice bodu křivky – Příkaz: *Vyhodnotit bod* → zapnout *Uchopování bodů* → Vyberte bod pro vyhodnocení: kliknout do bodu na křivce, jehož kartézské souřadnice chceme určit. V příkazovém řádku se zobrazí kartézské souřadnice bodu.

Tečna ke křivce – Příkaz: *Úsečka: tečna z křivky* → Počátek úsečky: v příkazovém řádku zvolit *NaOběStrany* → kliknout na křivku v budoucím bodě dotyku tečny → Enter → Konec úsečky: kliknout do koncového bodu tečny. Nakreslí se tečna jako úsečka se středem v bodě dotyku.

Hlavní normála rovinné křivky – Příkaz: *Úsečka: Kolmice z křivky* → Počátek úsečky: v příkazovém řádku zvolit *NaOběStrany* → kliknout na rovinnou křivku v bodě, ve kterém chceme konstruovat hlavní normálu → Enter → Konec úsečky: kliknout do koncového bodu hlavní normály. Nakreslí se hlavní normála jako úsečka se středem v bodě kliknutí na křivku.

Hlavní normála prostorové křivky – Hlavní normálu prostorové křivky konstruujeme nepřímo. Nejprve nakreslíme oskulační kružnici (viz dále) v bodě, ve kterém chceme konstruovat hlavní normálu. Vlastní hlavní normálu zkonstruujeme příkazem *Úsečka: z bodu v polovině* → Střed úsečky: kliknout do bodu dotyku oskulační kružnice s křivkou → Konec úsečky: zapnout *Uchopování středů* → kliknout na oskulační kružnici. Nakreslí se hlavní normála jako úsečka se středem v bodě dotyku oskulační kružnice s křivkou.

Poznámka: Aplikujeme-li příkaz *Úsečka: Kolmice z křivky* na prostorovou křivku, nakreslí se normála (kolmá k tečně a ležící v normálové rovině křivky), ale nikoliv hlavní normála (průsečnice normálové a oskulační roviny) podle definice ??.

Binormála prostorové křivky – Binormálu prostorové křivky konstruujeme nepřímo jako průsečnici normálové roviny (viz dále) a rektifikační roviny (viz dále) příkazem: *Průsečík objektů*: Vyberte objekty pro výpočet průsečíku: kliknout na normálovou rovinu a na rektifikační rovinu → Enter. Nakreslí se binormála jako úsečka.

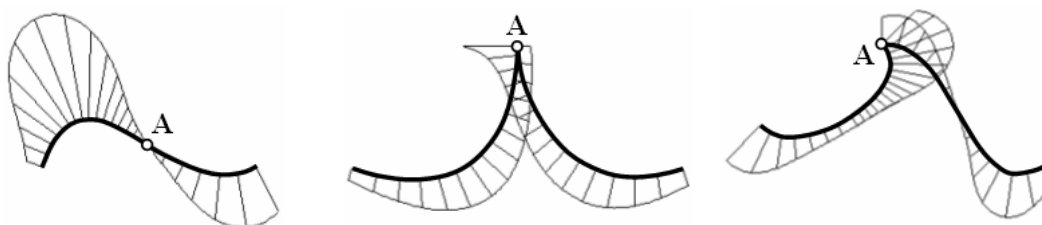
Normálová rovina křivky – Normálovou rovinu konstruujeme nepřímo. Nejprve vytvoříme její hranici příkazem: *Kružnice: kolem křivky*: Střed kružnice → kliknout na křivku v bodě, ve kterém chceme konstruovat normálovou rovinu → Poloměr: kliknout do koncového bodu poloměru. Nakreslí se kružnice, která leží v normálové rovině křivky se středem v průsečíku normálové roviny s křivkou. Poté hranici vyplníme rovinnou plochou příkazem: *Plocha z rovinných křivek* → Vyberte rovinné křivky: kliknout na kružnici → Enter. Nakreslí se normálová rovina jako kruh.

Oskulační rovina – Oskulační rovinu konstruujeme nepřímo. Nejprve vytvoříme oskulační kružnici (viz dále) v bodě, ve kterém chceme konstruovat oskulační rovinu. Oskulační kružnice tvoří hranici oskulační roviny. Tuto hranici vyplníme rovinnou plochou příkazem: *Plocha z rovinných křivek* → Vyberte rovinné křivky: kliknout na kružnici → Enter. Nakreslí se oskulační rovina jako kruh.

Rektifikační rovina – Rektifikační rovinu konstruujeme nepřímo. Nejprve zkonstruujeme hlavní normálu (viz výše). Poté nakreslíme kružnici příkazem: *Kružnice: kolem křivky* → Střed kružnice: zapnout *Uchopování koncových bodů* → kliknout do libovolného krajního bodu hlavní normály → Poloměr: kliknout do koncového bodu poloměru. Tuto kružnici posuneme příkazem *Přesunout* → Vyberte objekty pro přesun: kliknout na kružnici → Enter → Výchozí bod přesunutí: kliknout do středu kružnice v koncovém bodě hlavní normály → Cílový bod přesunutí: kliknout do průsečíku normály s křivkou. Kružnice nyní tvoří hranici

rektifikační roviny, kterou vyplníme rovinnou plochou příkazem: *Plocha z rovinných křivek* → Vyberte rovinné křivky: kliknout na kružnici → Enter. Nakreslí se rektifikační rovina jako kruh.

Graf první křivosti křivky – Příkaz: *Graf křivosti zapnout* → Vyberte objekty pro zobrazení grafu křivosti → kliknout na křivku → Enter → v dialogovém okně *Graf křivosti* nastavit měřítko a hustotu grafu. Podél křivky se zobrazí graf její první křivosti jako spojnice koncových bodů *normálových úseček* (tj. úseček ležících na normálách ke křivce). Délka normálové úsečky je úměrná první křivosti křivky v průsečíku normálové úsečky s křivkou. Z grafu první křivosti křivky lze poznat, zda má křivka inflexní bod, bod vratu nebo úhlový bod. V inflexním bodě přechází graf křivosti z jedné strany křivky na druhou, viz obr. 2 a). V bodě vratu leží normálové úsečky na téže přímce, neboť se v tomto bodě mění pouze orientace tečného vektoru, nikoliv jeho směr daný tečnou, viz obr. 2 b). Je-li na křivce *úhlový bod*, neleží normálové úsečky na téže přímce, neboť tečny v úhlovém bodě se protínají pod určitým úhlem, viz obr. 2 c).



a) Křivka s inflexním bodem b) Křivka s bodem vratu c) Křivka s úhlovým bodem

Obrázek 2: Klasifikace bodů křivky pomocí grafu křivosti

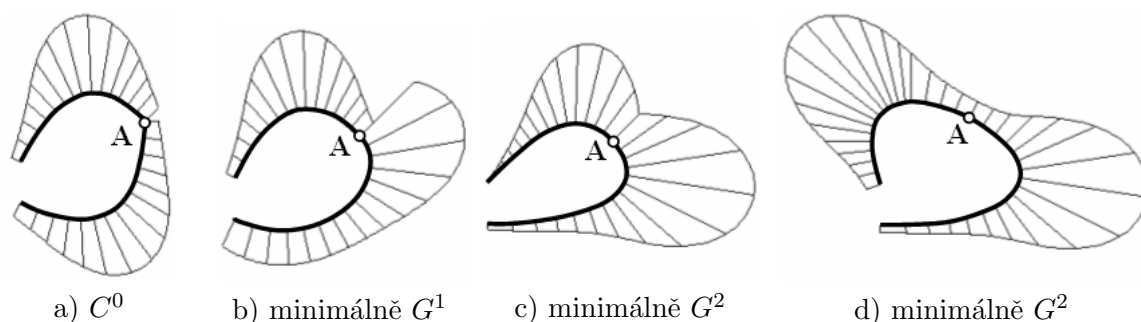
Poloměr křivosti – Příkaz: *Poloměr* → vyberte na křivce bod pro měření poloměru: kliknout na křivku → v příkazovém řádku se vypíše velikost poloměru křivosti křivky v bodě kliknutí.

Oskulační kružnice – Příkaz: *Hlavní křivosti* → Vyberte křivku nebo plochu pro měření křivosti: kliknout na křivku → Vyberte na křivce bod pro měření křivosti: v příkazovém řádku zvolit *ZanechatZnačku=Ano* → kliknout na křivku do bodu, ve kterém chceme zkonstruovat oskulační kružnici → Enter. Nakreslí se oskulační kružnice křivky v bodě kliknutí. V příkazovém řádku se zobrazí následující informace: hodnota parametru α , kartézské souřadnice bodu $\mathbf{P}(\alpha)$, složky tečného vektoru, kartézské souřadnice středu oskulační kružnice a poloměr křivosti křivky ve vybraném bodě

Poznámka: U relativně velkých objektů se mohou nakreslit pouze části oskulačních kružnic. Pokud s nimi budeme pracovat dále jako s hranicí oskulační roviny, je třeba nejprve tuto hranici uzavřít příkazem *Prodloužit křivku obloukem do bodu* → Vyberte křivku pro prodloužení: kliknout na oskulační kružnici poblíž jejího konce → Konec prodloužení: zapnout *Uchopování koncových bodů* → kliknout na oskulační kružnici poblíž jejího druhého konce. Oskulační kružnice se uzavře.

Spojitosť napojení dvou křivek – Příkaz: *Geometrická spojitost* → Vyberte první křivku poblíž jejího konce: kliknout na první křivku → Vyberte druhou křivku poblíž jejího konce: kliknout na druhou křivku. V příkazovém řádku se vypíše, zda jsou křivky G^0 (je totožná s C^0 spojitostí), G^1 nebo G^2 spojitě. Parametrickou spojitost C^1 nebo C^2 současnými nástroji v Rhinu diagnostikovat nelze.

Je-li zobrazen graf křivosti obou křivek, lze z jeho tvaru poznat, zda jsou křivky C^0 spojitě napojené, minimálně G^1 spojitě napojené a minimálně G^2 spojitě napojené, viz obr. 3.



Obrázek 3: Diagnostika spojitosti napojení dvou křivek pomocí grafu křivosti

Při C^0 spojitosti dvou křivek leží normálové úsečky v bodě napojení na různých přímkách, viz obr. 3 a). Při G^1 spojitosti leží normálové úsečky na společné přímce, avšak jejich délka se mění skokem, viz obr. 3 b). Je-li napojení G^2 spojitě, jsou spojitě i grafy křivosti obou křivek, viz obr. 3 c) a d).

Poznámka: Pokud by byly křivky na obr. 3 b) napojeny s C^1 spojitostí, popř. křivky na obr. 3 c) a d) s C^2 spojitostí, graf křivosti by vypadal stejně, proto uvádíme *minimálně*.

2 Nástroje analýzy a kontroly návrhu ploch

K zobrazení nově vytvořených ploch používá Rhino *drátový model*, který je určen parametrickými křivkami na ploše. Jejich počet závisí na nastavení volby *Hustota izočar* (menu *Soubor* → *Vlastnosti* → *Obecné* → *Hustota izočar*).

Bod plochy $P(\alpha, \beta)$ – Příkaz: *Bod z uv souřadnic* → Vyberte plochu pro vyhodnocení: v příkazovém řádku zvolit *VytvořitBod=Ano*, *Normalizovaná=Ano* → kliknout na plochu → Zadejte hodnotu U mezi 0.0 až 1.0: zadat zvolenou hodnotu α → Enter → Zadejte hodnotu V mezi 0.0 až 1.0: zadat zvolenou hodnotu β → Enter. V bodě plochy $P(\alpha, \beta)$ se nakreslí bod jako samostatná entita.

Poznámky:

- 1) Před použitím tohoto příkazu je třeba zjistit směr parametru u a v , např. příkazem *Vyjmout izočáru*, viz dále.
- 2) Volba *Normalizovaná=Ano* provede změnu původního oboru parametrizace $I = [a, b] \times [c, d]$ plochy na $I = [0, 1]^2$. Volba *Normalizovaná=Ne* ponechá původní obor parametrizace plochy $I = [a, b] \times [c, d]$.

Křivočaré souřadnice bodu plochy – Příkaz: *UV souřadnice bodu* → Vyberte plochu, ze které chcete odečíst souřadnice UV: v příkazovém řádku zvolit *VytvořitBod=Ano*, *Normalizovaná=Ano* → kliknout na plochu → Vyberte bod pro vyhodnocení: kliknout do bodu plochy, jehož křivočaré souřadnice chceme zjistit → v příkazovém řádku se zobrazí hodnoty parametrů u a v → Enter.

Poznámka: Před použitím tohoto příkazu je třeba zjistit směr parametru u a v , např. příkazem *Vyjmout izočáru*, viz dále.

Kartézské souřadnice bodu plochy – Příkaz: *Vyhodnotit bod* → zapnout *Uchopování bodů* → Vyberte bod pro vyhodnocení: kliknout do bodu, jehož kartézské souřadnice chceme určit. V příkazovém řádku se zobrazí kartézské souřadnice bodu.

Roh plátu – Příkaz: *Bod* → Umístění bodu: zapnout *Uchopování koncových bodů* → kliknout poblíž rohu plátu. V rohu plátu se nakreslí bod jako samostatná entita.

Parametrické křivky plochy – Příkaz: *Vyjmout izočáru* → Vyberte plochu pro vyjmutí izočáry: kliknout na plochu; zaměřovač je omezen na pohyb po ploše a zobrazuje se aktuální parametrická křivka → Vyberte izočáru, kterou chcete vyjmut: v příkazovém řádku zvolit *Směr=U*, *Směr=V* nebo *Směr=Oba* → kliknout do místa, ve kterém chceme kreslit parametrickou křivku nebo dvojici parametrických křivek. Nakreslí se parametrická *u*-křivka, parametrická *v*-křivka nebo dvojice parametrických křivek (podle volby v příkazovém řádku) jako samostatná entita, na kterou lze aplikovat veškeré příkazy platné pro křivku.

Poznámky:

- 1) Drátový model plochy lze vytvořit příkazem *Vyjmout drátový model*.
- 2) O tom, který směr bude u konkrétní plochy ve směru parametru *u* a který ve směru parametru *v*, nerozhoduje uživatel, ale parametrizace plochy použitá systémem.
- 3) Určitou informaci o způsobu parametrizace uzavřené plochy poskytuje volba *Přepnout silné hrany*. „Silná hrana“ je parametrická křivka plochy odpovídající krajním hodnotám oboru parametrizace příslušného parametru zvýrazněná tlustou čarou. V kombinaci s příkazem *UV souřadnice bodu* se zapnutou volbou *Normalizovaná=Ne* (viz výše) lze navíc zjistit obor parametrizace plochy.

Okraj plátu – Příkaz: *Duplikovat hranu*: Vyberte hrany pro duplikaci → kliknout na okraj plátu → Enter. Nakreslí se okraj plátu jako samostatná entita, na kterou lze aplikovat veškeré příkazy platné pro křivku.

Okraje plátu – Příkaz: *Duplikovat hranici*: Vyberte plochy pro duplikaci hranice → kliknout na plát → Enter. Nakreslí se všechny okraje plátu jako samostatná entita složená z jednotlivých okrajů. Samostatné okraje získáme příkazem *Rozpojit* → Vyberte objekty pro rozpojení: kliknout na složený okraj → Enter.

Normála plochy – Příkaz: *Úsečka: normály plochy* → Vyberte plochu pro vytvoření normály: kliknout na plochu → Počátek úsečky: kliknout do místa, ve kterém chceme nakreslit normálu → Konec úsečky: kliknout do koncového bodu normály. Nakreslí se normála jako úsečka s počátečním bodem na ploše.

Poznámka: Zvolíme-li v příkazovém řádku *NaOběStrany*, nakreslí se normála jako úsečka se středem na ploše.

Tečná rovina – Tečnou rovinu plochy konstruujeme nepřímou. Nejprve sestrojíme normálu (viz výše) v bodě, ve kterém chceme konstruovat tečnou rovinu. Potom vytvoříme hranici tečné roviny příkazem *Kružnice: kolem křivky*: Střed kružnice: kliknout do počátečního bodu normály → Poloměr: kliknout do koncového bodu poloměru. Nakonec hranici vyplníme rovinnou plochou příkazem: *Plocha z rovinných křivek* → Vyberte rovinné křivky: kliknout na kružnici → Enter. Nakreslí se tečná rovina jako kruh.

Křivost křivek na ploše – Příkaz: *Graf křivosti zapnout* → Vyberte objekty pro zobrazení grafu křivosti: kliknout na plochu, resp. na nakreslenou parametrickou křivku (viz výše) →

Enter → v dialogovém okně *Graf křivosti* nastavit vhodné měřítko a hustotu grafu. Podél okrajů plátu, podél automaticky zobrazovaných parametrických křivek i podél nakreslených parametrických křivek se zobrazí graf první křivosti jako spojnice koncových bodů normálových úseček. Délka normálové úsečky je úměrná první křivosti křivky v průsečíku normálové úsečky s křivkou.

Poloměr křivosti křivek na ploše – Příkaz: *Poloměr* → vyberte na křivce bod pro měření poloměru: kliknout na křivku na ploše → v příkazovém řádku se vypíše velikost poloměru křivosti křivky na ploše v bodě kliknutí.

Křivka normálového řezu v obecném směru plochy – Křivku normálového řezu v obecném směru plochy konstruujeme nepřímo. Nejprve nakreslíme na ploše bod (viz výše) a v tomto bodě sestrojíme normálu na obě strany (viz výše). Potom sestrojíme hranici tečné roviny (viz výše). Tečnu sestrojíme příkazem *Úsečka: z bodu v polovině* → Střed úsečky: kliknout do bodu na ploše → Konec úsečky: zapnout úchopový režim *Na křivce* → Vyberte křivku: kliknout na hranici tečné roviny → kliknout na hranici tečné roviny v požadovaném směru tečny. Nakreslí se tečna jako úsečka se středem v bodě na ploše. Dále zkopírujeme tečnu příkazem *Kopírovat* → Vyberte objekty pro kopírování: kliknout na tečnu → Enter → Výchozí bod kopírování: kliknout do bodu na ploše → Cílový bod kopírování: kliknout do koncového bodu normály → Enter. Rovinu normálového řezu konstruujeme příkazem *Vytáhnout podél křivky* → Vyberte křivky pro vytažení: kliknout na zkopírovanou tečnu → Enter → Vyberte trasu: kliknout na normálu. Nakreslí se rovina normálového řezu. Nakonec vytvoříme křivku normálového řezu příkazem *Průsečík objektů* → Vyberte objekty pro výpočet průsečíku: kliknout na plochu a na rovinu normálového řezu → Enter. Nakreslí se křivka normálového řezu.

Hlavní křivosti – Příkaz: *Hlavní křivosti* → Vyberte křivku nebo plochu pro měření křivosti: kliknout na plochu → Vyberte na ploše bod pro měření křivosti → v příkazovém řádku zvolit *ZanechatZnačku=Ano* → kliknout do bodu, v němž chceme zjistit hlavní křivosti plochy. Nakreslí se oskulační kružnice křivek normálových řezů v hlavních směrech plochy. V příkazovém řádku se zobrazí následující informace: hodnoty parametrů (α, β) , kartézské souřadnice bodu $\mathbf{P}(\alpha, \beta)$, složky normálového vektoru, maximální hlavní křivost, minimální hlavní křivost, Gaussova křivost a střední křivost.

Jsou-li nakresleny oskulační kružnice křivek normálových řezů v hlavních směrech, lze klasifikovat bod plochy: v eliptickém bodě plochy se obě oskulační kružnice vykreslí na stejnou stranu plochy, v hyperbolickém bodě plochy se každá oskulační kružnice vykreslí na jinou stranu plochy, v parabolickém bodě plochy přejde jedna z oskulačních kružnic v přímku.

Křivky normálových řezů v hlavních směrech plochy – Křivky normálového řezu v hlavních směrech plochy sestrojíme nepřímo. Nejprve vytvoříme oskulační roviny (viz výše) těchto křivek, které jsou rovinami normálových řezů v hlavních směrech. Křivku normálového řezu v hlavních směrech plochy vytvoříme příkazem *Průsečík objektů* → Vyberte objekty pro výpočet průsečíku: kliknout na plochu a na oskulační roviny → Enter. Vykreslí se křivky normálových řezů v hlavních směrech plochy.

Gaussova křivost, hlavní křivost – Příkaz: *Analýza křivosti* → Vyberte objekty pro analýzu křivosti: kliknout na plochu → Enter. V příkazovém řádku se zobrazí meze, ve kterých se pohybuje Gaussova křivost plochy, střední křivost plochy, maximální poloměr křivosti křivky na ploše a minimální poloměr křivosti křivky na ploše. Zároveň se zobrazí dialogové

okno *Křivost*, ve kterém lze zvolit *Styl*, tj. konkrétní charakteristiku křivosti, jejíž hodnoty jsou na ploše barevně odlišeny.

Poznámka: Abychom dostali relevantní barevné zobrazení analyzované charakteristiky, je třeba v dialogovém okně *Křivost* nastavit *Rozsah křivosti* na hodnoty uvedené jako meze v příkazovém řádku.

Spojitosť napojení dvou plátů – Příkaz: *Analýza pomocí pruhů zebry* → Vyberte objekty pro analýzu pomocí pruhů zebry: kliknout na pláty, jejichž spojitost napojení chceme analyzovat → Enter. V dialogovém okně *Volby zebry* nastavit směr, tloušťku a barvu pruhů zebry. Ve stínovaném zobrazení se na pláty namapují pruhy, jejichž návaznost podél společného okraje informuje o spojitosti napojení obou plátů. Pláty jsou napojeny s C^0 spojitostí, jestliže jejich pruhy zebry na sebe nenažují, viz obr. 4 a). Pláty jsou napojeny minimálně s C^1 spojitostí, jestliže jejich pruhy zebry na sebe nažují se zlomem, viz obr. 4 b). Pláty jsou napojeny minimálně s C^2 spojitostí, jestliže na sebe jejich pruhy zebry nažují hladce, viz obr. 4 c).

Spojitosť napojení plátů lze také diagnostikovat pomocí grafu křivosti (viz výše) parametrických křivek na ploše (viz výše), jak je znázorněno na obr. 5.

3 Fergusonova kubika v Rhinu

V Rhinu lze vytvořit Fergusonovu kubiku pouze nepřímou, a to využitím jejího vztahu s Bézierovou kubikou.

4 Bézierova křivka v Rhinu

Bézierova křivka n -tého stupně – Příkaz: *Křivka zadávaná řídicími body* → Počátek křivky: v příkazovém řádku zadat stupeň n ; zadat počáteční řídicí bod → Další bod: celkem zadat $n + 1$ řídicích bodů → Enter. Nakreslí se Bézierova křivka n -tého stupně.

Poznámky:

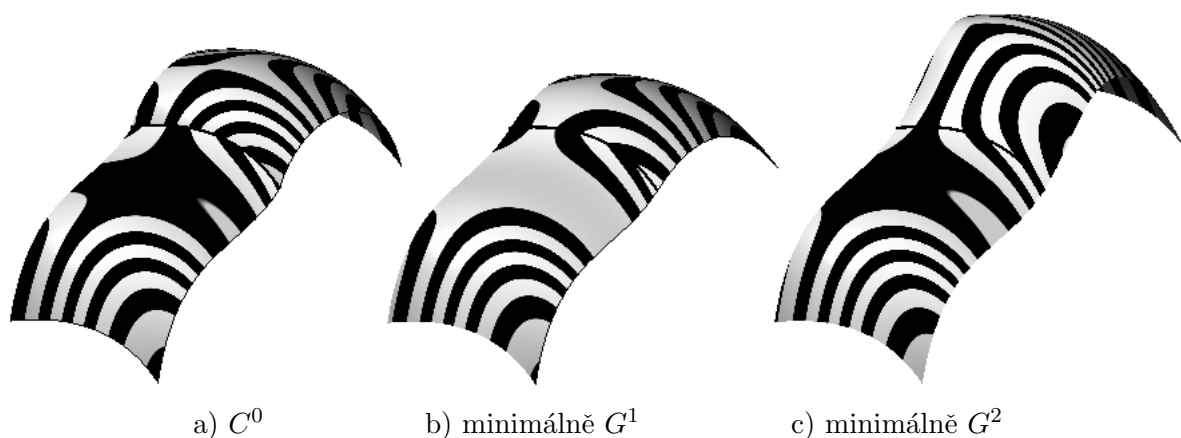
1) V případě, že je zadáno $m < n + 1$ řídicích bodů, nakreslí se Bézierova křivka stupně $m - 1$. V případě, že je zadáno $m > n + 1$ řídicích bodů, nakreslí se uniformní ukotvená B-spline křivka n -tého stupně složená z $m - n$ segmentů.

2) Jestliže jsou počáteční a koncový řídicí bod Bézierovy křivky totožné, je třeba před zadáním koncového řídicího bodu zvolit v příkazovém řádku *Uzavřít Ostrže=Ano*.

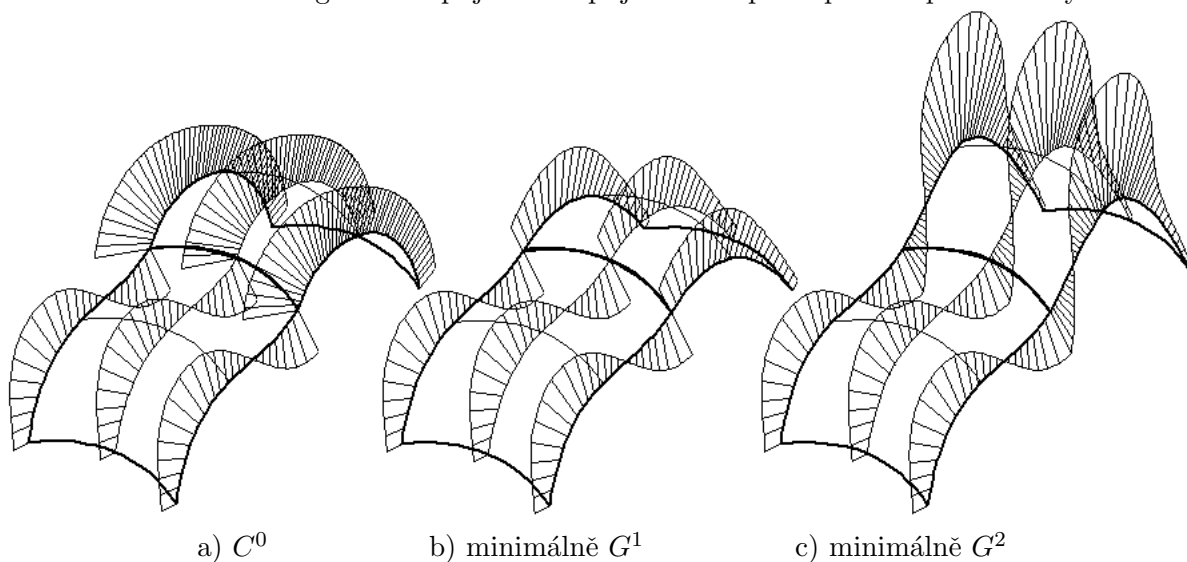
Fergusonova kubika – Příkaz *Křivka zadávaná řídicími body* → Počátek křivky: v příkazovém řádku zadat stupeň 3; zadat počáteční definiční bod Fergusonovy kubiky → Další bod: zadat bod v jedné třetině tečného vektoru v počátečním bodě → Další bod: zadat bod v jedné třetině tečného vektoru, který je opačný k tečnému vektoru v koncovém bodě Fergusonovy kubiky → Další bod: zadat koncový definiční bod Fergusonovy kubiky → Enter. Nakreslí se Bézierova křivka 3. stupně, která je totožná s Fergusonovou kubikou.

Řídicí body a řídicí polygon – Řídicí body a řídicí polygon nakreslené Bézierovy křivky lze zobrazit/skrýt příkazem *Zapnout řídicí body/Vypnout řídicí body* → Vyberte objekty pro zobrazení řídicích bodů: kliknout na křivku. Řídicí body se zobrazí jako dočasně viditelné body, řídicí polygon se zobrazí tečkovanou čarou.

Řídicí polygon nakreslené Bézierovy křivky lze navíc vytvořit příkazem *Vyjmout síť z řídicího polygonu NURBS* → Vyberte křivky nebo plochy pro vyjmutí řídicího polygonu: kliknout



Obrázek 4: Diagnostika spojitosti napojení dvou plátů pomocí pruhů zebry



Obrázek 5: Diagnostika spojitosti napojení dvou plátů pomocí grafu křivosti parametrických křivek

na křivku → Enter. Nakreslí se řídicí polygon jako samostatná entita – lomená čára. Nakreslený řídicí polygon je po skončení příkazu vybrán, takže s ním lze okamžitě pracovat – např. pokračovat de Casteljau algoritmem, viz dále.

Modifikace tvaru Bézierovy křivky – Tvar Bézierovy křivky lze modifikovat následujícími doporučenými způsoby:

- 1) Přemístěním zobrazených řídicích bodů. Řídicí body lze i vymazat, čímž se mění tvar i stupeň Bézierovy křivky. Nelze však přidávat další řídicí body.
- 2) Přemístěním zobrazených editačních bodů. Editační body lze zobrazit/skrýt příkazem *Zobrazit editační body*/*Vypnout editační body* → Vyberte křivku pro zobrazení editačních bodů: kliknout na křivku → Enter. Zobrazí se body na křivce, jejichž počet a počáteční polohu generuje program. Řídicí polygon křivky se po přemístění editačních bodů změní automaticky.
- 3) Editací tečny v bodě Bézierovy křivky příkazem *Editor tečen* → Vyberte křivku nebo

plochu pro úpravy: kliknout na křivku. Zobrazí se tečna křivky v bodě kliknutí. Přemístěním jejích koncových bodů lze změnit tvar Bézierovy křivky. Řídící polygon křivky se editací tečny změní automaticky.

Pozor! Pro úpravu tvaru Bézierovy křivky nepoužíváme příkazy *Vložit uzel* a *Odstranit uzel*, které vedou na segmentaci a na neuniformní parametrizaci křivky (obor parametrizace jednotlivých segmentů je různý, nikoliv $[0, 1]$). Nepoužíváme také příkaz *Změnit váhu*, který vede na racionální parametrizaci křivky (nikoliv polynomiální). Po těchto úpravách již není původní křivka Bézierovou křivkou, ale obecně NURBS křivkou.

De Casteljau algoritmus – De Casteljau algoritmus konstrukce bodu $\mathbf{P}(\alpha)$ na Bézierově křivce $\mathbf{P}(t)$, $t \in [0, 1]$, nelze realizovat v Rhinu přímo, lze si však práci velmi usnadnit. Nejprve vyjádříme hodnotu parametru α ve tvaru zlomku $\alpha = \frac{a}{b}$. Potom vytvoříme řídicí polygon (viz výše), který rozložíme na jednotlivé úsečky příkazem *Rozpojit*. Na všech ramenech vytvoříme dělicí body příkazem *Rozdělit křivku počtem segmentů* → Počet segmentů: zadat b → Enter. Na každém rameni se nakreslí $b + 1$ bodů jako samostatné entity, které jsou rovnoměrně rozmístěny. Zapneme *Uchopování bodů* a řídicí polygony dalších úrovní dělení kreslíme příkazem *Lomená čára* → Počátek lomené čáry: kliknout do a -tého dělicího bodu na prvním rameni řídicího polygonu předcházející úrovně dělení → Další bod lomené čáry: kliknout do a -tého dělicího bodu dalšího ramene → ... → kliknout do a -tého dělicího bodu posledního ramene → Enter. Další úrovně dělení provedeme obdobně.

Napojování Bézierových kubik – Předpokládejme v souladu s podmínkami spojitosti, že Bézierova kubika $\mathbf{P}(t)$ určená řídicím polygonem $\mathbf{V}_0\mathbf{V}_1\mathbf{V}_2\mathbf{V}_3$ je již nakreslena, jsou zobrazeny její řídicí body a je zapnutý režim *Uchopování bodů* a *Uchopování koncových bodů*. Konstrukci řídicích bodů $\mathbf{W}_0, \mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2, \mathbf{W}_3$ připojované Bézierovy kubiky $\mathbf{R}(s)$ si můžeme usnadnit následovně:

C^0 spojitost: totožnost krajních bodů řídicích polygonů zajistíme pouze režimem *Uchopování koncových bodů*.

C^1 spojitost: podmínku, že bod \mathbf{V}_3 je středem úsečky $\mathbf{V}_2\mathbf{W}_1$ realizujeme příkazem *Úsečka: z bodu v polovině* → Střed úsečky: kliknout do bodu \mathbf{V}_3 → Konec úsečky: kliknout do \mathbf{V}_2 . Nakreslí se úsečka se středem v bodě \mathbf{V}_3 a koncovými body v bodech \mathbf{V}_2 a \mathbf{W}_1 .

C^2 spojitost: podmínku, že vektor $\overrightarrow{\mathbf{V}_1\mathbf{W}_2}$ je roven čtyřnásobku vektoru $\overrightarrow{\mathbf{V}_2\mathbf{V}_3}$ realizujeme dvojnásobným zkopírováním úsečky $\mathbf{V}_2\mathbf{W}_1$ (která představuje dvojnásobek vektoru $\overrightarrow{\mathbf{V}_2\mathbf{V}_3}$), nakreslené v předchozím kroku. Příkaz: *Kopírovat* → Vyberte objekty pro kopírování: kliknout na úsečku $\mathbf{V}_2\mathbf{W}_1$ → Enter → Výchozí bod kopírování: kliknout do bodu \mathbf{V}_2 → Cílový bod kopírování: kliknout do bodu \mathbf{V}_1 → Cílový bod kopírování: kliknout do volného koncového bodu právě zkopírované úsečky → Enter. Volný koncový bod podruhé zkopírované úsečky je bod \mathbf{W}_2 .

Poznámka: Při zajištění C^0, C^1 spojitosti Bézierových křivek 2. stupně a při zajištění C^0, C^1 a C^2 spojitosti Bézierových křivek stupně vyššího než 3 postupujeme obdobně.

5 Coonsova kubika v Rhinu

V Rhinu lze vytvořit Coonsovu kubiku pouze nepřímou s využitím jejího vztahu s Bézierovou kubikou.

6 Coonsův kubický B-spline v Rhinu

Otevřený Coonsův kubický B-spline nelze v Rhinu vytvořit přímo.

Uzavřený Coonsův kubický B-spline – Příkaz: *Křivka zadávaná řídicími body* → V příkazovém řádku zadat stupeň 3 → Počátek křivky: zadat počáteční bod řídicího polygonu uzavřeného Coonsova kubického B-spline → Další bod: zadat vnitřní body řídicího polygonu uzavřeného Coonsova kubického B-spline → Další bod: kliknout poblíž počátečního bodu vykreslované křivky. Křivka se automaticky uzavře s C^2 spojitostí a vytvoří se uzavřený Coonsův kubický B-spline. Poslední dva body řídicího polygonu se nezadávají.

Poznámky:

- 1) Příkazy pro řídicí body a řídicí polygon uzavřeného Coonsova kubického B-spline jsou stejné jako pro Bézierovu křivku, viz část 4.
- 2) Pravidla pro modifikaci tvaru uzavřeného Coonsova kubického B-spline jsou stejná jako pro Bézierovu křivku, viz část 4.

Krajní body Coonsových kubik – Příkaz: *Více bodů* → Umístění bodu: zapnout *Uchopování uzlů*, případně vypnout *Krok*; zaměřovačem pohybovat podél uzavřeného Coonsova kubického B-spline a kliknout, jakmile se zobrazí u zaměřovače informace *Uzel*. V krajních bodech jednotlivých Coonsových kubik se nakreslí body jako samostatné entity.

Pozor! V krajních bodech (uzlech) Coonsových kubik se mění analytické vyjádření Coonsova kubického B-spline. Jakmile použijeme příkazy *Vložit uzel* a *Odstranit uzel*, změní se uzavřený Coonsův kubický B-spline na neuniformní uzavřenou B-spline křivku 3. stupně. Tyto příkazy proto používáme pouze tehdy, pokud si přesně uvědomujeme jejich důsledky.

7 Ukotvená křivka v Rhinu

Uniformní ukotvená B-spline křivka p -tého stupně s $n + 1$ řídicími body, kde $p < n$, představuje v Rhinu (i v převážné většině CAD/CAM systémů) základní modelovací nástroj, kterým lze velmi pohodlně a intuitivně vytvářet křivky zcela obecného tvaru. Matematický popis takových křivek je však poměrně komplikovaný. Abychom přesto pronikli do zákonitostí, kterými se řídí modifikace jejich tvaru, věnovali jsme se v kapitole ?? nejprve křivkám s jednoduchou analytickou reprezentací a vysvětlili jsme si jejich vztah k uniformní ukotvené B-spline křivce 3. stupně, která je v praxi nejrozšířenější.

Při vytváření křivek obecného tvaru se tedy v žádném případě nemusíme spoléhat jen na metodu „pokus a omyl“, jejíž výsledky jsou nepředvídatelné. Právě naopak – můžeme aplikovat všechny poznatky o křivkách, se kterými pracujeme a využívat všechny jejich známé geometrické vlastnosti, aby naše práce byla efektivní a zajímavá.

Ukotvená křivka 3. stupně – Příkaz: *Křivka zadávaná řídicími body* → Počátek křivky: v příkazovém řádku zadat stupeň 3; zadat postupně všechny řídicí body → Enter.

Poznámky:

- 1) Příkazy pro řídicí body a řídicí polygon ukotvené křivky jsou stejné jako pro Bézierovu křivku, viz část 4.
- 2) Pravidla pro modifikaci tvaru ukotvené křivky jsou stejná jako pro Bézierovu křivku, viz část 4.

Krajní body segmentů ukotvené křivky – Příkaz: *Více bodů* → Umístění bodu: zapnout *Uchopování uzlů*, případně vypnout *Krok*; zaměřovačem pohybovat podél ukotvené křivky a kliknout, jakmile se zobrazí u zaměřovače informace *Uzel*. V krajních bodech jednotlivých segmentů ukotvené křivky se nakreslí body jako samostatné entity.

Pozor! Krajní body jednotlivých segmentů ukotvené křivky jsou právě ty body, které lze uchopit režimem *Uchopování uzlů*. Proto ani k modifikaci tvaru ukotvené křivky nepoužíváme příkazy *Vložit uzel* a *Odstranit uzel*, protože se po takovém zásahu stane z původně uniformní ukotvené B-spline křivky 3. stupně neuniformní ukotvená B-spline křivka 3. stupně.

Napojování ukotvených křivek – Pravidla pro usnadnění práce při konstrukci polohy řídicích bodů zajišťujících požadovanou spojitost jsou obdobná jako tomu bylo při napojování Bézierových kubik.

Výpis struktury ukotvené křivky – Příkaz: *Výpis databáze objektu* → Vyberte objekty pro výpis podrobných informací: kliknout na ukotvenou křivku → Enter. Zobrazí se dialogové okno *Výpis*, ve kterém se zobrazují podrobné informace. Pro nás jsou užitečné následující informace (příklad):

- `order` = 4: křivka je 4. řádu, tedy 3. stupně,
- `cv_count` = 7: počet řídicích bodů je 7,
- `index value`: výpis řídicích bodů a jejich globálních kartézských souřadnic, např.:

<code>index</code>	<code>value</code>
<code>CV[0]</code>	<code>(-5,4,0)</code>
<code>CV[1]</code>	<code>(-7,6,0)</code>
<code>CV[2]</code>	<code>(-9,4,0)</code>
<code>CV[3]</code>	<code>(-6,-2,0)</code>
<code>CV[4]</code>	<code>(-3,4,0)</code>
<code>CV[5]</code>	<code>(-1,0,0)</code>
<code>CV[6]</code>	<code>(0,0,0)</code>

Poznámky:

1) Informace je možné z dialogového okna zkopírovat do schránky Windows a vložit do výpočetního systému (Maple, Mathematica, ...), kde je lze (po nezbytné editaci) použít jako vstupní data výpočtu.

2) Podrobné informace lze získat pro libovolný objekt Rhina, tedy i pro křivky, kterými jsme se zabývali v předcházejících částech této kapitoly.

8 Přímková přechodová plocha v Rhinu

Před vytvořením přímkové přechodové plochy je třeba mít nakreslené dva okraje. Vzhledem k tomu, že směr parametru v přímkové přechodové plochy v Rhinu je vždy podél zadaných okrajů a směr u je vždy podél úseček, lze vytvořit pouze přímkovou přechodovou plochu určenou okraji ve směru v . Pokud si ale uvědomíme, že okraji mohou být v prostoru libovolně umístěné dvě rovinné nebo prostorové křivky, viz příklad ??, nejsme touto skutečností při modelování přímkových přechodových ploch nijak omezeni.

Přímková přechodová plocha – Příkaz: *Plocha ze 2, 3 nebo 4 hraničních křivek* → Vyberte 2, 3 nebo 4 hraniční křivky: kliknout na oba okraje → Enter. Nakreslí se přímková přechodová plocha určená danými okraji.

Poznámka: Orientace vytvořené přímkové přechodové plochy je dána systémem. Snadno ji zjistíme postupem uvedeným pod heslem **Bod plochy** $\mathbf{P}(\alpha, \beta)$, viz část 2, když zvolíme $\alpha \neq \beta$.

8.1 Plocha hyperbolického paraboloidu v Rhinu

Plocha hyperbolického paraboloidu – Příkaz: *Plocha ze 3 nebo 4 rohových bodů* → První roh plochy: postupně zadat všechny 4 rohy → Enter. Nakreslí se plocha hyperbolického paraboloidu.

Poznámky:

- 1) Rohy je třeba zadat např. v pořadí $\mathbf{P}_{0,0}$, $\mathbf{P}_{0,1}$, $\mathbf{P}_{1,1}$, $\mathbf{P}_{1,0}$ (tedy po obvodu čtyřúhelníka), aby nevznikla překroucená plocha.
- 2) Směr a orientace parametrů na ploše je určena systémem. Tyto informace zjistíme postupem uvedeným pod heslem **Bod plochy** $\mathbf{P}(\alpha, \beta)$, když zvolíme $\alpha \neq \beta$.

8.2 Coonsova bilineární plocha v Rhinu

Před vytvořením Coonsovy bilineární plochy je třeba mít nakreslené čtyři okraje, kterými mohou být i prostorové křivky. Okraje musí mít společné krajní body v rozích budoucího plátu.

Coonsova bilineární plocha – Příkaz: *Plocha ze 2, 3 nebo 4 hraničních křivek* → Vyberte 2, 3 nebo 4 křivky: kliknout na okraje v tomto pořadí: $\mathbf{P}_0(v)$, $\mathbf{P}_1(v)$, $\mathbf{P}_0(u)$, $\mathbf{P}_1(u)$ → Enter. Vytvoří se Coonsova bilineární plocha určená zadanými okraji.

Poznámky:

- 1) Pokud dodržíme pořadí zadávaných okrajů, má vytvořená plocha směr i orientaci obou parametrů podle očekávání.
- 2) Coonsova bilineární plocha se vytvoří i tehdy, pokud zadáme okraje v libovolném pořadí. V takovém případě je však směr i orientace parametrů u a v na ploše určena systémem. Tyto informace lze zjistit postupem uvedeným pod heslem **Bod plochy** $\mathbf{P}(\alpha, \beta)$, když zvolíme $\alpha \neq \beta$.

8.3 Bézierova plocha v Rhinu

Už víme, že směr parametrů u a v plochy v Rhinu je dán systémem. Po vytvoření plochy již nelze směry parametrů měnit a v řadě případů je nelze ani předem nijak ovlivnit. U Bézierovy plochy však můžeme vhodným pořadím zadávaných vstupních dat rozhodnout o směru parametrů u a v sami. Předpokládejme dále, že v souladu s definicí je parametr u Bézierovy plochy stupně m a parametr v je stupně n .

Bézierova plocha stupně $m \times n$ – Příkaz: *Plocha z mřížky řídicích bodů* → v příkazovém řádku zvolit *Stupeň*: zadat stupeň m Bézierovy plochy ve směru u → Počet bodů v řádku: zadat $m + 1$ (tj. počet řádků mapy) → v příkazovém řádku zvolit *Stupeň*: zadat stupeň n Bézierovy plochy ve směru v → Počet bodů ve sloupci: zadat $n + 1$ (tj. počet sloupců mapy) → Bod(1 z $m + 1$, 1 z $n + 1$): zadat $\mathbf{V}_{0,0}$ → Enter → Bod(1 z $m + 1$, 2 z $n + 1$): zadat $\mathbf{V}_{0,1}$ → ... → Bod($m + 1$ z $m + 1$, $n + 1$ z $n + 1$): zadat $\mathbf{V}_{m,n}$ → Enter. Nakreslí se

Bézierova plocha určená sítí $(m+1) \times (n+1)$ řídicích bodů se směrem a orientací parametrů u a v podle očekávání, tj. parametr u roste s přibývajícím indexem řádků, parametr v roste s přibývajícím indexem sloupců.

Poznámky:

- 1) Uvědomme si, že vstupní data se v tomto případě úmyslně nezadávali v souladu s výzvami v příkazovém řádku. Záměrně zadáváme data z transponované matice (mapy plochy) namísto původní, abychom zajistili směr parametrů u a v podle definice a podle zvyklostí.
- 2) Na obr. 6 b) je uvedena část výpisu struktury (viz dále) takto zadané Bézierovy plochy, konkrétně kartézské souřadnice jednotlivých řídicích bodů. Je zřejmé, že uspořádání řídicích bodů přesně odpovídá mapě Bézierovy plochy z definice.

Bézierova plocha stupně $n \times m$ – Příkaz: *Plocha z mřížky řídicích bodů* → v příkazovém řádku zvolit *Stupeň*: zadat stupeň n Bézierovy plochy ve směru v → Počet bodů v řádku: zadat $n + 1$ (tj. počet sloupců mapy) → v příkazovém řádku zvolit *Stupeň*: zadat stupeň m Bézierovy plochy ve směru u → Počet bodů ve sloupci: zadat $m + 1$ (tj. počet řádků mapy) → Bod(1 z $n + 1$, 1 z $m + 1$): zadat $\mathbf{V}_{0,0}$ → Enter Bod(1 z $n + 1$, 2 z $m + 1$): zadat $\mathbf{V}_{1,0}$ → ... → Bod($n + 1$ z $n + 1$, $m + 1$ z $m + 1$): zadat $\mathbf{V}_{m,n}$ → Enter. Nakreslí se Bézierova plocha určená sítí $(n + 1) \times (m + 1)$ řídicích bodů s prohozeným směrem parametrů u a v , tj. parametr u roste podél sloupců, parametr v roste podél řádků, viz obr. 7 a).

Poznámky:

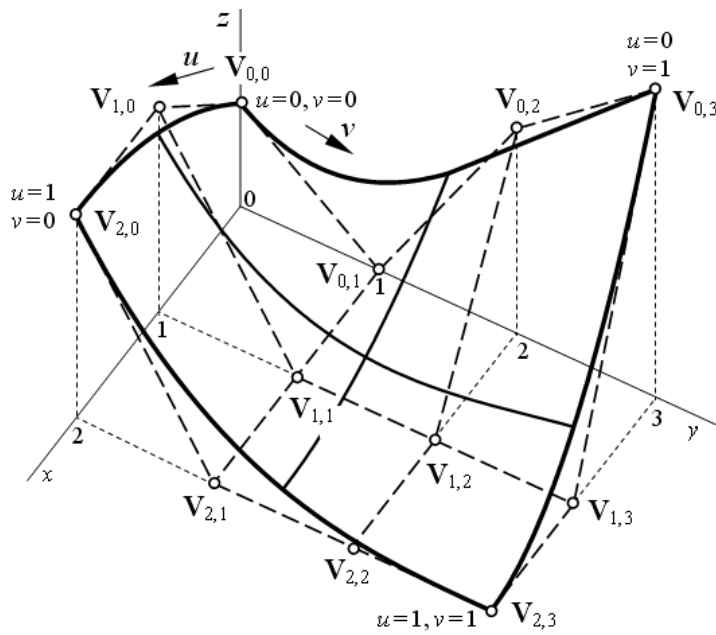
- 1) V tomto případě přesně odpovídají zadávaná data výzvám v příkazovém řádku.
- 2) Na obr. 7 b) je uvedena část výpisu struktury (viz dále) takto zadané Bézierovy plochy, konkrétně kartézské souřadnice jednotlivých řídicích bodů. Je zřejmé, že uspořádání řídicích bodů neodpovídá mapě Bézierovy plochy z definice, ale mapě, která představuje transponovanou matici.

Síť řídicích bodů – Síť řídicích bodů (body i ramena) Bézierovy plochy lze zobrazit/skrýt příkazem *Zapnout řídicí body/Vypnout řídicí body* → Vyberte objekty pro zobrazení řídicích bodů: kliknout na plochu. Řídicí body se zobrazí jako dočasně viditelné body, ramena se zobrazí jako dočasně viditelné úsečky tečkovanou čarou. Zobrazené řídicí body lze uchopit s režimem *Uchopování bodů*.

Řídicí body lze navíc kreslit současně při vytváření Bézierovy plochy příkazem *Plocha z mřížky řídicích bodů*, zvolíme-li v příkazovém řádku *ZachovatBody=Ano*. Po dokončení příkazu se řídicí body nakreslí jako tečky a dohromady tvoří společnou samostatnou entitu, tzv. *mrazek bodů*.

Poznámka: Síť řídicích bodů nakreslené Bézierovy plochy lze vytvořit příkazem *Vyjmout síť z řídicího polygonu NURBS* (→ Vyberte křivky nebo plochy pro vyjmutí řídicího polygonu: kliknout na plochu → Enter), ale výsledek tohoto příkazu nesplní očekávání. Nakreslí se polygonová síť, tj. plocha složená z uzavřených polygonů, která přesně interpoluje síť řídicích bodů Bézierovy plochy. Její vrcholy ležící v řídicích bodech lze uchopit se zapnutým režimem *Uchopování bodů*. S hranami nelze pracovat jako s úsečkami, neboť polygonovou síť nelze rozložit.

Řádkové a sloupcové řídicí polygony – Potřebujeme-li pracovat s jednotlivými rameny rádkových a sloupcových řídicích polygonů jako s úsečkami (např. při konstrukci bodu na Bézierově ploše de Casteljau algoritmem), lze rádkové a sloupcové řídicí polygony vytvořit jako řídicí polygon předem nakreslené Bézierovy křivky postupem uvedeným v části 4. Pro další práci nepotřebné Bézierovy křivky po vytvoření řídicích polygonů vymažeme.



a) Směr a orientace parametrů u a v

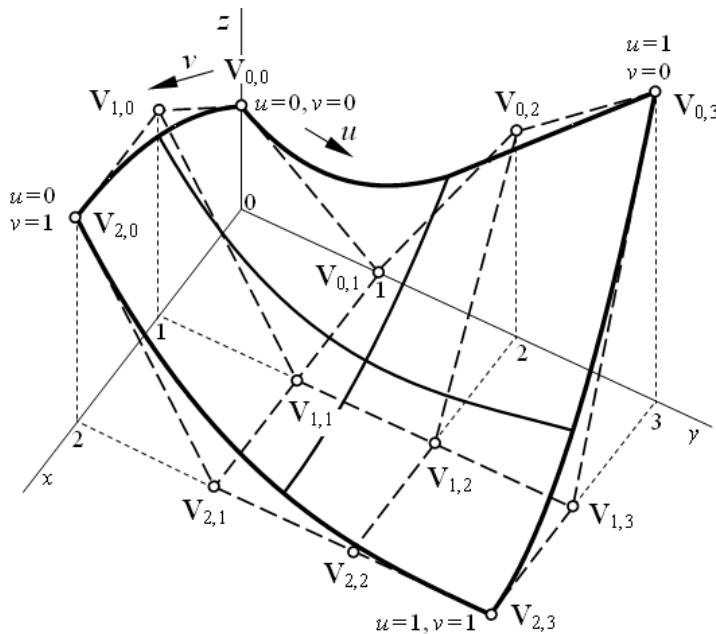
CV[0] [0] (0,0,1)
 CV[0] [1] (0,1,0)
 CV[0] [2] (0,2,2)
 CV[0] [3] (0,3,3)

CV[1] [0] (1,0,2)
 CV[1] [1] (1,1,0)
 CV[1] [2] (1,2,0)
 CV[1] [3] (1,3,0)

CV[2] [0] (2,0,2)
 CV[2] [1] (2,1,0)
 CV[2] [2] (2,2,0)
 CV[2] [3] (2,3,0)

b) Výpis struktury

Obrázek 6: Bézierova plocha stupně $m \times n$



a) Směr a orientace parametrů u a v

CV[0] [0] (0,0,1)
 CV[0] [1] (1,0,2)
 CV[0] [2] (2,0,2)

CV[1] [0] (0,1,0)
 CV[1] [1] (1,1,0)
 CV[1] [2] (2,1,0)

CV[2] [0] (0,2,2)
 CV[2] [1] (1,2,0)
 CV[2] [2] (2,2,0)

CV[3] [0] (0,3,3)
 CV[3] [1] (1,3,0)
 CV[3] [2] (2,3,0)

b) Výpis struktury

Obrázek 7: Bézierova plocha stupně $n \times m$

Ramena sítě řídicích bodů lze také nakreslit příkazem *Samostatné úsečky* se zapnutým režimem *Uchopování bodů*.

Modifikace tvaru Bézierovy plochy – Tvar Bézierovy plochy lze modifikovat následujícími doporučenými způsoby:

1) Přemístěním zobrazených řídicích bodů. Cílovou polohu řídicího bodu lze zadat pouze kliknutím (nikoliv např. zadáním nových souřadnic z klávesnice), proto je vhodné nejprve nakreslit v cílové poloze bod jako samostatnou entitu a řídicí bod přesně přemístit do cílové polohy se zapnutým režimem *Uchopování bodů*. Řídicí body Bézierovy plochy nelze vymazat (na rozdíl od řídicích bodů Bézierovy křivky) ani je nelze přidávat.

2) Editací tečen v bodě Bézierovy plochy příkazem *Editor tečen* → Vyberte křivku nebo plochu pro úpravy: kliknout na plochu. Zobrazí se dvě tečny k parametrickým křivkám v bodě kliknutí. Přemístěním jejich koncových bodů lze změnit tvar Bézierovy plochy. Sít řídicích bodů se editací tečen změní automaticky.

Pozor! Pro úpravu tvaru Bézierovy plochy nepoužíváme příkazy *Vložit uzel* a *Odstranit uzel*, jejichž důsledkem je segmentace plochy a neuniformní parametrizace plochy (obor parametrizace jednotlivých plátů plochy je různý, nikoliv $[0, 1]^2$). Nepoužíváme také příkaz *Změnit váhu*, který vede na racionální parametrizaci plochy. Po těchto úpravách již není původní plocha Bézierovou plochou, ale obecně NURBS plochou.

De Casteljau algoritmus – De Casteljau algoritmus pro křivky lze realizovat podle postupu uvedeném v části 4. De Casteljau algoritmus pro plochy předpokládá, že jsou vytvořené všechna ramena sítě řídicích bodů jako samostatné úsečky.

Napojování plátů z Bézierových ploch – Konstrukci polohy řídicích bodů napojovaného plátu z Bézierovy plochy si můžeme usnadnit postupem uvedeným v části 4, který aplikujeme na jednotlivé řádkové nebo sloupcové řídicí polygony.

Vztah Bézierovy bikubické plochy a Coonsovy bilineární plochy – Předpokládejme, že je nakreslena Coonsova bilineární plocha určená okrajovými Bézierovými kubikami. Sít řídicích bodů této Coonsovy bilineární plochy je totožná se sítí řídicích bodů Bézierovy bikubické plochy, která má stejnou vektorovou rovnici jako výchozí Coonsova bilineární plocha.

Sít řídicích bodů Coonsovy bilineární plochy zobrazíme příkazem *Zapnout řídicí body* (stejně jako sít Bézierovy plochy). Kartézské souřadnice jednotlivých řídicích bodů můžeme zjistit příkazem *Vyhodnotit bod*. Kartézské souřadnice všech řídicích bodů zjistíme ve výpisu struktury plochy, viz dále.

Výpis struktury Bézierovy plochy – Příkaz: *Výpis databáze objektu* → Vyberte objekty pro výpis podrobných informací: kliknout na Bézierovu plochu → Enter. Zobrazí se dialogové okno *Výpis*, ve kterém se zobrazují podrobné informace. Pro nás jsou užitečné následující informace (předpokládáme výpis Bézierovy plochy z obr. 6):

- **order = (m+1)x(n+1)**: plocha je řádu $(m + 1)$, tedy m -tého stupně ve směru parametru u , a řádu $(n + 1)$, tedy n -tého stupně ve směru parametru v ,
- **cv_count = (m+1)x(n+1)**: počet řádků řídicích bodů je $m + 1$, počet sloupců řídicích bodů je $n + 1$,
- **Control Points = (m+1)x(n+1) non-rational points**: celkový počet řídicích bodů je $(m + 1) \times (n + 1)$,

- `index value` .. výpis řídicích bodů a jejich globálních kartézských souřadnic, např.:

index	value
CV[0][0]	(0,0,1)
CV[0][1]	(0,1,0)
CV[0][2]	(0,2,2)
CV[0][3]	(0,3,3)
CV[1][0]	(1,0,2)
CV[1][1]	(1,1,0)
CV[1][2]	(1,2,0)
CV[1][3]	(1,3,0)
CV[2][0]	(2,0,2)
CV[2][1]	(2,1,0)
CV[2][2]	(2,2,0)
CV[2][3]	(2,3,0)

Poznámky:

- 1) Informace je možné z dialogového okna zkopírovat do schránky Windows a vložit do výpočetního systému (Maple, Mathematica, ...), kde je lze (po nezbytné editaci) použít jako vstupní data výpočtu.
- 2) Podrobné informace lze získat pro libovolný objekt Rhina, tedy i pro plochy, kterými jsme se zabývali v předcházejících částech této kapitoly.

9 Ukotvená plocha v Rhinu

Ukotvená plocha určená sítí řídicích bodů – Jak již bylo řečeno, směr parametrů u i v je dán systémem. Pro pořadí zadávaných vstupních dat platí u ukotvené plochy stejná pravidla jako tomu bylo u Bézierovy plochy. Zde se budeme věnovat pouze prvnímu způsobu zadávání, kdy parametr u roste s přibývajícím indexem řádků a parametr v roste s přibývajícím indexem sloupců.

Příkaz: Plocha z mřížky řídicích bodů → v příkazovém řádku zvolit stupeň: zadat 3 → Počet bodů v řádku: zadat $m + 1$ (tj. počet řádků mapy plochy) → v příkazovém řádku zvolit *Stupeň*: zadat 3 → Počet bodů ve sloupci: zadat $n + 1$ (tj. počet sloupců mapy) → Bod(1 z $m + 1, 1$ z $n + 1$): zadat $\mathbf{V}_{0,0}$ → Enter → Bod(1 z $m + 1, 2$ z $n + 1$): zadat $\mathbf{V}_{0,1}$ → ... → Bod($m + 1$ z $m + 1, n + 1$ z $n + 1$): zadat $\mathbf{V}_{m,n}$ → Enter. Nakreslí se ukotvená plocha určena sítí $(m + 1) \times (n + 1)$ řídicích bodů se směrem a orientací parametrů u a v podle očekávání, tj. parametr u roste s přibývajícím indexem řádků a parametr v roste s přibývajícím indexem sloupců.

Poznámka: Na ukotvené ploše se automaticky zobrazují parametrické křivky, které od sebe oddělují jednotlivé segmenty – pláty z Bézierovy bikubické plochy, viz dále.

Síť řídicích bodů – Síť řídicích bodů (body i ramena) ukotvené plochy lze zobrazit/skrýt příkazem *Zapnout řídicí body/Vypnout řídicí body* → Vyberte objekty pro zobrazení řídicích bodů: kliknout na plochu. Řídicí body se zobrazí jako dočasně viditelné body, ramena se zobrazí jako dočasně viditelné úsečky tečkovanou čarou. Zobrazené řídicí body lze uchopit s režimem *Uchopování bodů*.

Ukotvená plocha určená okrajovými ukotvenými křivkami – Před vytvořením ukotvené plochy určené okrajovými ukotvenými křivkami je třeba mít okrajové křivky nakreslené.

Příkaz: *Plocha ze 2, 3 nebo 4 hraničních křivek* → Vyberte 2, 3 nebo 4 křivky: kliknout na okraje v tomto pořadí: $\mathbf{P}_0(v)$, $\mathbf{P}_1(v)$, $\mathbf{P}_0(u)$, $\mathbf{P}_1(u)$ → Enter. Nakreslí se Coonsova bilineární plocha určená zadanými okraji. Tato Coonsova bilineární plocha je totožná s ukotvenou plochou určenou právě tou sítí řídicích bodů, která se zobrazí příkazem *Zapnout řídicí body* → Vyberte objekty pro zobrazení řídicích bodů: kliknout na Coonsovou bilineární plochu.

Pozor! Je zřejmé, že obráceně tento vztah mezi ukotvenou a Coonsovou bilineární plochou neplatí. Pokud nakreslíme ukotvenou plochu příkazem *Plocha z mřížky řídicích bodů*, a potom nakreslíme Coonsovou bilineární plochu určenou okrajovými ukotvenými křivkami ukotvené plochy, nemusíme obecně dostat totožné plochy.

Modifikace tvaru ukotvené plochy – Pro modifikaci tvaru ukotvené plochy platí stejná pravidla jako u Bézierovy plochy. Z uživatelského hlediska lze za nejvýznamnější vlastnost ukotvené plochy považovat schopnost automaticky zachovat okraje i C^2 spojitosti celé plochy po změně polohy vnitřního řídicího bodu.

Pozor! Ani u ukotvené plochy nepoužíváme k modifikaci tvaru příkazy *Vložit uzel* a *Odstranit uzel*, jejichž důsledkem se změní uniformní parametrizace plochy na neuniformní a příkaz *Změnit váhu*, který vede na racionální parametrizaci.



















Rozdělení ukotvené plochy na pláty z Bézierovy bikubické plochy – **Příkaz:** *Rozdělit plochu izočarou* → v příkazovém řádku zvolit *Izočára* → Vyberte objekty pro rozdělení: kliknout na ukotvenou plochu → v příkazovém řádku zvolit *Zmenšit=Ano* → Rozdělit v bodě: postupně kliknout do koncových bodů všech parametrických u -křivek → v příkazovém řádku zvolit *Přepnout* → postupně kliknout do koncových bodů všech parametrických v -křivek → Enter. V příkazovém řádku se zobrazí informace, že plocha byla rozdělena na $(m - 2) \times (n - 2)$ kusů – plátů z Bézierových bikubických ploch.
































Pozor! Přemístěním libovolného řídicího bodu libovolného plátu z Bézierovy plochy se ruší C^2 spojitost mezi pláty.

10 Rhino – seznam použitých příkazů

V následujícím seznamu jsou uvedeny abecedně seřazené příkazy Rhina. Jako první je uveden název příkazu, který se zobrazuje v bublinové nápovědě tlačítka a v závorce název nástrojové palety, na které se tlačítko nachází. Dále je uveden obrázek tlačítka, kterým lze příkaz zadat a nakonec postup zadání příkazu z menu. Zkratka PTM (Pravé Tlačítko Myši) znamená, že příkaz je třeba volit stisknutím pravého tlačítka myši v nástrojové paletě tlačítek, případně v titulkovém pruhu pohledu.

Nástrojovou paletu zobrazíme volbou z menu **Nástroje** → **Rozvržení nástrojových palet** → zaškrtnout požadovanou nástrojovou paletu.

Analýza křivosti (Analýza) .....		..... Analýza → Plocha → Analýza křivosti
Analýza pomocí pruhů zebry (Analýza plochy) .....		..... Analýza → Plocha → Zebra
Anuloid (Těleso) .....		..... Těleso → Anuloid
Bod (Bod) .....		..... Křivka → Bod
Bod z UV souřadnic (Analýza plochy) .....		..... Analýza → Plocha → Bod z UV souřadnic
Duplikovat hranici (Křivka z jiného objektu) .....		..... Křivka → Křivka z jiných objektů → Duplikovat hranici
Duplikovat hranu (Křivka z jiného objektu) .....		..... Křivka → Křivka z jiných objektů → Duplikovat hranu
Elipsa: střed (Elipsa) .....		..... Křivka → Elipsa → Střed
Editor tečen (Úpravy bodů) .....		..... Úpravy → Řídící body → Editor tečen
Geometrická spojitost 2 křivek (Analýza) .....		..... Analýza → Křivka → Geometrická spojitost
Graf křivosti zapnout (Analýza) .....		..... Analýza → Křivka → Zapnout graf křivosti
Hlavní křivosti	NENÍ	..... Analýza → Hlavní křivosti
Kopírovat (Transformace) .....		..... Transformace → Kopírovat
Kružnice: kolem křivky (Kružnice) .....		..... NENÍ
Křivka zadávaná řídicími body (Křivka) .....		..... Křivka → Volný tvar → Řídící body
Lomená čára (Úsečky) .....		..... Křivka → Lomená čára → Lomená čára
Označit konec křivky (Bod)		PTM..Křivka → Bod → Označit konec křivky
Označit počátek křivky (Bod) .....		..... Křivka → Bod → Označit počátek křivky
Plocha ze 2, 3 nebo 4 hraničních křivek (Plocha) ...		..... Plocha → Hraniční křivky

Plocha ze 3 nebo 4 rohových bodů (Plocha).....		.....Plocha → Rohové body
Plocha z mřížky řídicích bodů (Plocha).....		PTM..NENÍ
Plocha z rovinných křivek (Plocha).....		.....Plocha → Rovinné křivky
Poloměr (Analýza).....		.....Analýza → Poloměr
Prodloužit křivku obloukem do bodu (Prodloužit).....		.....Křivka → Prodloužit křivku → Obloukem do bodu
Průsečík objektů (Křivka z jiného objektu).....		.....Křivka → Křivka z jiných objektů → Průsečík
Přepnout silné hrany (Pokročilé zobrazení).....		.....NENÍ
Přesunout (Transformace).....		.....Transformace → Přesunout
Rozdělit křivku počtem segmentů (Bod).....		PTM..Křivka → Bod → Rozdělit křivku → Počtem segmentů
Rozpojit (Hlavní2).....		.....Úpravy → Rozpojit
Samostatné úsečky (Úsečky).....		PTM..Křivka → Úsečka → Samostatné úsečky
Stínované zobrazení (Standardní).....		.....PTM v titulkovém pruhu pohledu → Stínované zobrazení
Uchopování objektů: Na křivce (Uchopování objektů).....		.....Nástroje → Uchopování objektů → Na křivce
Uchopování objektů: Na ploše (Uchopování objektů).....		.....Nástroje → Uchopování objektů → Na ploše
Úsečka: kolmice z křivky (Úsečky).....		.....Křivka → Úsečka → Kolmice ke křivce
Úsečka: normály plochy (Úsečky).....		.....Křivka → Úsečka → Normála plochy
Úsečka: tečna z křivky (Úsečky).....		.....Křivka → Úsečka → Tečna ke křivce
Úsečka: z bodu v polovině (Úsečky).....		.....NENÍ
UV souřadnice bodu (Analýza plochy).....		PTM..Analýza → Plocha → UV souřadnice bodu
Více bodů (Bod).....		.....Křivka → Bod → Více bodů
Vyhodnotit bod (Analýza).....		.....Analýza → Bod
Vytáhnout přímo (Vytáhnout).....		.....Plocha → Vytáhnout křivku → Přímo
Vyjmout izočáru (Křivka z jiného objektu).....		.....Křivka → Křivka z jiných objektů → Vyjmout izočáru
Vyjmout drátový model (Křivka z jiného objektu).....		.....Křivka → Křivka z jiných objektů → Vyjmout drátový model
Vyjmout síť z řídicího polygonu NURBS (Polygonová síť).....		PTM..Nástroje → Polygonová síť → Z řídicího polygonu NURBS
Výpis databáze objektu (Analýza).....		.....Analýza → Diagnostika → Vypsát strukturu
Vypnout editační body (Úpravy bodů).....		PTM..Úpravy → Řídicí body → Vypnout
Vypnout řídicí body (Úpravy bodů).....		PTM..Úpravy → Řídicí body → Vypnout
Vytáhnout podél křivky (Vytáhnout).....		.....Plocha → Vytáhnout křivku → Podél křivky
Zapnout řídicí body (Úpravy bodů).....		.....Úpravy → Řídicí body → Zapnout
Zobrazit editační body (Úpravy bodů).....		.....Úpravy → Řídicí body → Zobrazit editační body