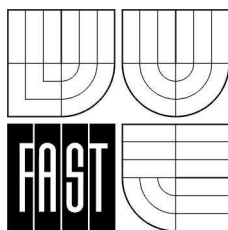


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

DOC. ING. BOHUMIL STRAKA, CSc.
ING. KAREL SÝKORA

DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE

MODUL BO03 – M05
DŘEVĚNÉ PROSTOROVÉ KONSTRUKCE



STUDIJNÍ OPORY
PRO STUDIJNÍ PROGRAMY S KOMBINOVANOU FORMOU STUDIA

Jazyková korektura nebyla provedena, za jazykovou stránku odpovídají autoři

© Doc. Ing. Bohumil Straka, CSc., Ing. Karel Sýkora.

OBSAH

1 Úvod	5
1.1 Cíle	5
1.2 Požadované znalosti	5
1.3 Doba potřebná ke studiu	5
1.4 Klíčová slova	6
2 Dřevěné plnostěnné prostorové konstrukce	7
2.1 Dřevěné plnostěnné skořepiny a lomenice	8
2.1.1 Dřevěné válcové skořepiny	11
2.1.1.1 Dlouhé válcové skořepiny	12
2.1.1.2 Krátké válcové skořepiny	14
2.2 Dřevěné rotační skořepiny	16
2.3 Dřevěné hyperbolicko-parabolické skořepiny	21
2.4 Dřevěné konoidické skořepiny	24
2.5 Dřevěné lomenice	25
3 Dřevěné prutové prostorové konstrukce	27
3.1 Dřevěné prutové kopule	27
3.2 Dřevěné žebrové kopule a klenby	30
3.3 Dřevěné lamelové kopule a klenby	35
3.4 Dřevěné strukturální konstrukce	41
4 Kontrolní otázky	47
5 Studijní prameny	48
5.1 Použitá literatura	48
5.2 Doplnková studijní literatura	48
5.3 Odkazy na další studijní zdroje a prameny	48

1 Úvod

1.1 Cíle

Cílem tohoto modulu je **získat přehled** o základních typech dřevěných prostorových konstrukcí, jejich konstrukčním řešení a zásadách navrhování.



Kapitola „Dřevěné plnostěnné prostorové konstrukce“ obsahuje **hlavní typy skořepin a lomenic** používaných v oboru dřevěných konstrukcí a jejich charakteristiku. Důležitý je přehled typů z hlediska geometrického tvaru a konstrukční skladby. Nastudováním této části získá student základní představu o problematice dřevěných valcových, rotač ních a hyperbolicko-parabolických skořepin.

Kapitola „Dřevěné prutové prostorové konstrukce“ je zaměřena k prostorovým prutovým soustavám. Podrobněji je pojednáno o **žebrových a lamelových klenbách a kopulích**, které se v praxi vyskytují nejčastěji. V závěru kapitoly jsou uvedeny strukturální konstrukce typu příhradových desek a roštů.

Záměrem autorů bylo zpracovat text modulu tak, aby bylo možné využít poznatky získané nastudováním problematiky v rámci diplomových seminářů, projektů a při **vypracovávání témat diplomových prací**.

1.2 Požadované znalosti

Modul „Dřevěné prostorové konstrukce“ navazuje na **předcházející moduly B01 až B04** vztahující se k navrhování dřevěných konstrukcí. Ke zvládnutí a pochopení problematiky obsažené v tomto modulu je třeba mít odpovídající znalosti ze **stavební mechaniky**, zejména z teorie skořepin a prostorových prutových soustav. Důležitá je rovněž orientace v geometrických tvarech vycházející z deskriptivní geometrie plošných útvarů.



1.3 Doba potřebná ke studiu

Celková optimální doba pro studium je velmi individuální a závisí zejména na intenzivnosti studia a soustředěnosti studujícího na obsah textu. U kapitoly 2 studium zabere 3 až 6 hodin. Prostudování kapitoly 3 se může pohybovat mezi 4 až 6 hodinami.



Jedná se o náročnější tematiku, takže celková doba pro prostudování modulu činí asi 7 až 12 hodin. Pokud má být cílem i praktické využití poznatků, tak nejvíce času zabere prostudování konstrukčních detailů.

1.4 Klíčová slova



Kapitola 2:

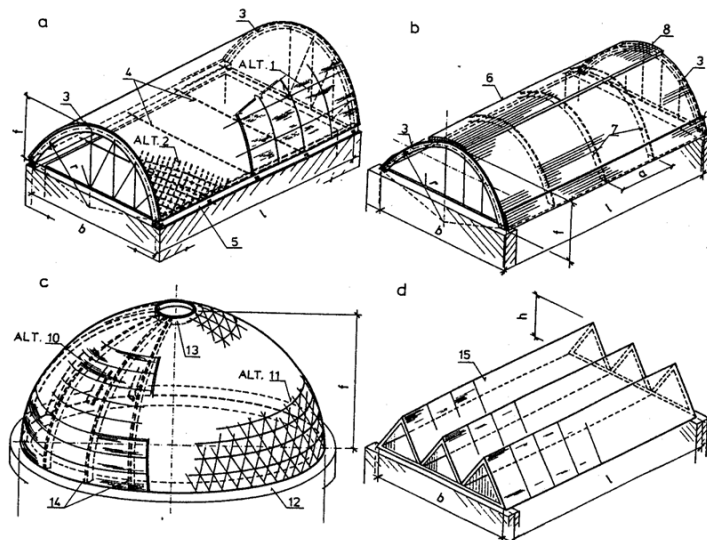
Prostorová konstrukce; plnostěnná konstrukce; skořepina; lomenice; dlouhá válcová skořepina; krátká válcová skořepina; mřížová skořepina; rotační skořepina; skořepina vyztužená žebry; hyperbolicko-parabolická skořepina; konoidická skořepina; kruhová lomenice.

Kapitola 3:

Prutová prostorová konstrukce; prutová kopule; Schwedlerova soustava; Föpplova soustava; geodetická kopule; žebrová klenba, žebrová kopule; lamelová klenba, prostorový styčník; strukturní konstrukce; příhradová deska; příhradový rošt.

2 Dřevěné plnostěnné prostorové konstrukce

Základním požadavkem z hlediska navrhování konstrukcí je, že každá konstrukce musí být uspořádána jako **prostorový systém**, tedy jako systém, který je schopen přenášet všechny účinky zatížení působící obecně v prostoru až do podpor. Nosné soustavy (například střešní konstrukce, haly apod.), vytvořené z rovinných konstrukcí (obecně z rovinných příčných vazeb - vazníků, rámu, oblouků) a zabezpečené potřebnými ztužidly, jsou v tomto smyslu také prostorovými soustavami. Při vyšetřování těchto soustav je možné rozložit uvažovaný typ konstrukce na jednotlivé rovinné konstrukce (konstrukční dílce), které lze řešit samostatně na účinky zatížení působícího v jejich rovině. Mezi prostorové konstrukce řadíme nosné systémy, které z hlediska skladby a přenosu účinků zatížení působí jako jeden celek – prostorový útvar. Při vyšetřování prostorových konstrukcí je nutné respektovat vzájemné spolupůsobení jednotlivých nosných částí. Řešení cestou rozkladu konstrukce na jednotlivé části nelze v tomto případě uplatnit, protože by neodpovídalo skutečnému působení konstrukce.



Obr. 2.1 – Typy dřevěných prostorových konstrukcí:

a-krátké válcové skořepiny a klenby, *b*-dlouhé válcové skořepiny, *c*-rotační skořepiny (kopule), *d*-lomenice:

alt.1-plnostěnná skořepina z panelů, *alt.2*-lamelová skořepina (klenba), 3-čelní vazníky nebo stěny, 4-táhla, 5-podepření skořepiny na patním nosníku či pozednici, 6-skořepina vytvořená z vrstev desek, 7-výztužná žebra, 8-zesílení tlačené části dlouhé skořepiny, 9-zesílení taženého okraje dlouhé skořepiny, *alt.10*-plnostěnná kopule, *alt.11*-mřížová a lamelová kopule, 12-patní prstenec, 13-lucernový prstenec, 14-výztužná žebra, 15-plášť lomenice podepřené na čelních stěnách

Mezi základní typy dřevěných prostorových konstrukcí patří:

- Skořepiny a klenby
- Lomenice
- Kopule

- Strukturální konstrukce
- Jiné prostorové soustavy (například prostorové rámy pro konstrukce budov, soustavy pro konstrukce speciálního účelu apod.)

Charakteristickým znakem prostorových konstrukcí je konstrukční řešení základní nosné vrstvy (u střešních konstrukcí střešního pláště). Tato vrstva může být řešena jako plnostěnná, příhradová, mřížová, síťová nebo lamelová (Obr. 2.1).

2.1 Dřevěné plnostěnné skořepiny a lomenice

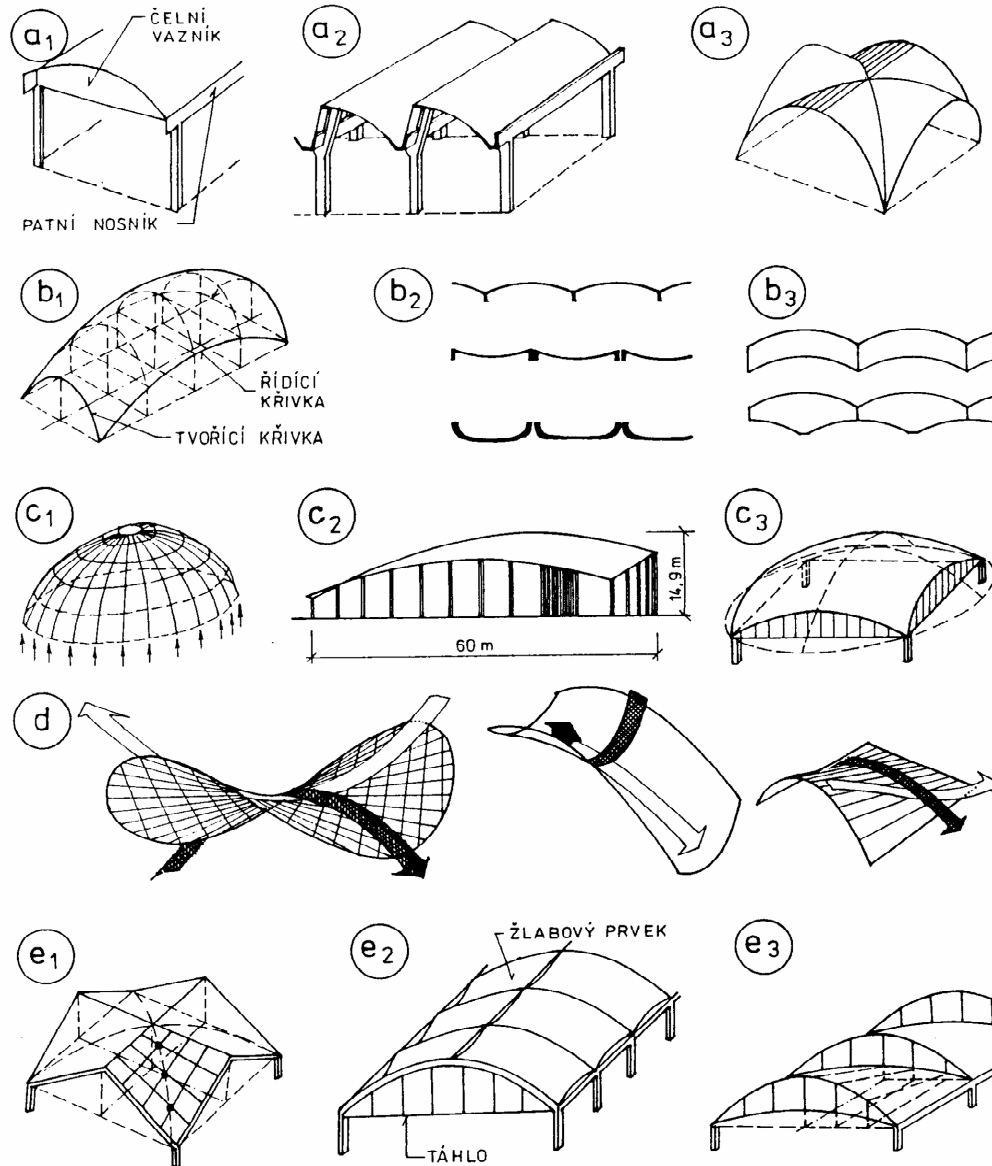
Skořepinové a lomenicové konstrukce patří mezi typické prostorové nosné systémy. Při přenosu zatížení působí jako ucelený prostorový nosný útvar, který je vytvořen ze souvislé nosné vrstvy (pláště skořepiny či lomenice) a dalších nosných prvků, zpravidla okrajových nosníků a výztužných žeber. V podstatě se tedy jedná o nosné soustavy vytvořené z plošných a prutových prvků. Do této kapitoly jsou začleněny konstrukce, jejichž hlavní nosná část je tvořena souvislou nebo hustou síťovou či mřížovou plochou (pláštěm). Plášť skořepin může být vyroben ze zakřivených skořepinových prvků nebo z rovinných deskostěnových prvků (požadovaný zakřivený tvar střešní plochy se pak vytvoří nosnou vrstvou a krytinou střešního pláště). Plášť lomenic je vytvořen z deskostěnových prvků. Výztužná žebra skořepin a lomenic, patní nosníky a prstence jsou z prutových prvků. V oboru dřevěných konstrukcí je v řadě případů konstrukčně výhodné řešit plášť skořepin z husté sítě latí, desek nebo fošen. Tyto typy skořepin řadíme do skupiny mřížových, respektive síťových konstrukcí.

Skořepiny i lomenice pro zastřešení objektů mohou být konstruovány nad pravouhlým, mnohoúhelníkovým, nepravidelným nebo zakřiveným půdorysem. Důležitou charakteristikou skořepin je geometrický tvar určující plochy. Tvary těchto ploch mohou být klasifikovány podle různých kritérií, zejména podle křivosti, konstrukčního způsobu vytvoření plochy, případně i jiných hledisek (Obr. 2.2).

Pro dřevěné střešní konstrukce se používají plochy jedné křivosti (obvykle válcové, ve zvláštních případech kuželové), plochy dvojí křivosti s hlavními středy křivosti na jedné straně tečné roviny vedené libovolným bodem plochy (běžně sférické, méně elipticko-parabolické) a plochy dvojí křivosti s hlavními středy křivosti na opačných stranách tečné roviny (hyperbolicko-parabolické). Podle způsobu sestrojení plochy translační (zejména válcové a lomenicové, méně konoidické), plochy rotační (sférické a kónické), rozvinutelné přímkové plochy (hlavně válcové, případně kuželové) a zborcené přímkové plochy (zejména hyperbolicko-parabolické). Určující plocha skořepin a lomenic může být jednoduchá nebo též složená, tedy vytvořená z několika jednoduchých ploch.

Podle tradičního třídění dřevěných konstrukcí zařazujeme dřevěné skořepiny a lomenice mezi plnostěnné prostorové konstrukce. Nosnou soustavu tvoří souvislá skořepinová či lomenicová plocha (plášť), okrajové nosníky a výztužné prvky (zpravidla výztužná žebra, případně i další výztužné prvky). Do skupiny plnostěnných skořepin se rovněž začleňují mřížové skořepiny, u nichž je

skořepinová plocha provedena z několika vrstev latí nebo desek kladených s mezerami. Vzhledem k husté struktuře prvků vytvářejících plášť skořepiny působí mřížové skořepiny při přenosu účinků zatížení obdobně jako plnostěnné skořepiny.



Obr. 2.2 – Základní geometrické tvary skořepin:

a) válcové skořepiny: a1) souměrná, a2) nesouměrná (šedová), a3) složená-vytvořená pronikem válcových ploch,

b) translační skořepiny: b1) geometrické vytvoření translační plochy, b2) příčné řezy pláštěm skořepiny, b3) dvouplášťové skořepiny,

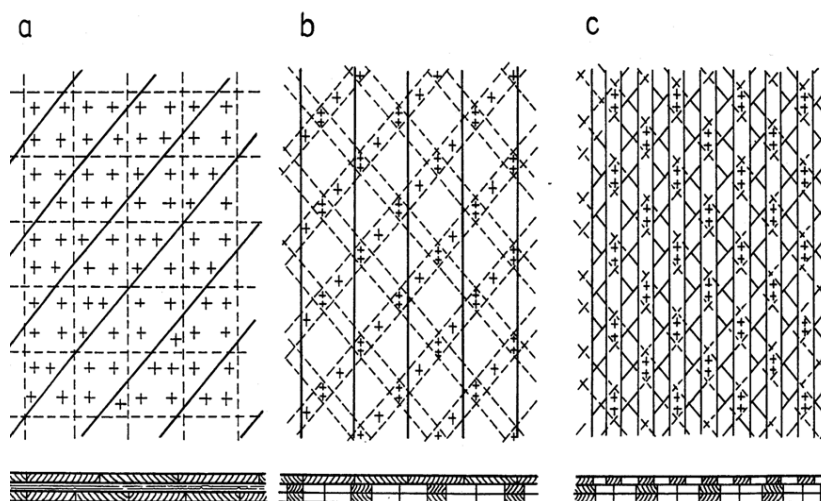
c) skořepiny vytvořené nad: c1) kruhovým, c2) trojúhelníkovým ac3) pravoúhlým půdorysem,

d) zborčené plochy ve tvaru hyperbolických paraboloidů a konoidů,

e) skořepiny vytvořené ze zborčených ploch: e1) křížová střecha z hyperbolicko-parabolických ploch, e2) žlabová skořepina, e3) konoidická střecha

Dřevo a materiály na bázi dřeva vyhovují velmi dobře požadavkům na realizaci skořepinových a lomenicových konstrukcí. Výhodou je zejména malá hmotnost, vyhovující únosnost, poměrně snadná opracovatelnost a jednoduše konstrukčních detailů, umožňující konstruovat i geometricky složité a členité tvary střech. Pevnostní materiálové charakteristiky dřeva jsou v rozsahu vhodném pro navrhování skořepin. V méně namáhaných částech lze používat dřevo nižší třídy pevnosti. Pro výrobu dřevěných skořepin a lomenic se používají všechny materiály, které z konstrukčního hlediska zařazujeme do obecného termínu „dřevo“, tedy rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo a materiály na bázi dřeva.

Základním materiálem je rostlé dřevo (obvykle smrkové) ve formě hraněného řeziva (desky, fošny a hranoly) vyhovující třídě pevnosti SI Výběrové dřevo S0 s vyššími pevnostními charakteristikami se používá pro prvky přenázející namáhaní větší intenzity, zejména pro prvky a části namáhané tahem a části namáhané kombinací tahu a ohybu. Dřevo nižší pevnostní třídy SII je vhodné pro méně namáhané části a doplňkové prvky. Plášť, vlastní nosnou skořepinovou plochu, lze také jednoduše vytvořit z vrstev desek či latí (Obr. 2.3). Ke spojení desek ve vrstvách se používají mechanické spoje (hřebíky a vruty) nebo lepení.



Obr. 2.3 – Konstrukční řešení skořepinových ploch:

a-plná trojvrstvá skořepina, b-skořepina s horní vrstvou plnou a dvěma vrstvami laťovými, c-mřížová skořepina ze tří vrstev latí nebo desek

Lepené lamelové dřevo se v konstrukcích skořepin používá pro výztužná žebra (obvykle zakřivená žebra obloukového typu, přímá žebra nosíkového typu, případně žebra rámová), okrajové a patní nosníky, lucernové a patní prstence. U lomenic pro nosníky spojující deskostěnové plošné prvky ve vrcholových a úžlabních hranách. Obdobně jako u ostatních typů dřevěných konstrukcí se také u skořepin a lomenic uplatní výhody lepeného dřeva ve srovnání s rostlým dřevem, zejména homogennější skladba průřezu, vyšší hodnoty mechanických charakteristik, možnost kombinace lamel různé pevnosti, podstatně vyšší odolnost proti vzniku trhlin, vyšší požární odolnost, možnost vyrábět prakticky libovolné geometrické tvary prvků a dílce velkých průřezových rozměrů a délek. Vzhledem k velkým intenzitám namáhání je u konstrukcí vel-

kých rozpětí použití lepeného dřeva nezbytné. Zpravidla se u nás používají dvě základní pevnostní třídy lepeného lamelového dřeva, a to lamely obvyklé pevnosti SB a lamely vyšší pevnosti SA (GL 20 a GL 24 podle označení tříd ve smyslu evropských norem).

Pro vytvoření souvislého pláště skořepin a lomenic jsou nejvhodnější materiály na bázi dřeva, zejména stavební překližky, dřevotřískové desky, OSB desky (oriented strand boards). Z těchto materiálů se vyrábějí rovinné nebo zakřivené panely, z nichž lze vytvořit velmi efektivní nosnou plochu skořepin. Panely jsou obvykle trojvrstvé. Vnější vrstvy jsou z materiálů na bázi dřeva (mohou být ovšem i kovové nebo z plastických hmot), střední vrstva panelů je nejčastěji kontinuální z lehčených plastických hmot (pěnového polystyrenu, polyuretanu, případně z dalších materiálů). K novým materiálům na bázi dřeva, který nalézá stále širší uplatnění v oboru dřevěných konstrukcí, patří vrstvené dřevo a vrstvené dřevo z dýhových pásů. Tento materiál se vyznačuje vysokou pevností a je perspektivním konstrukčním materiálem. Únosnost prvků vyrobených z rostlého dřeva je podstatně ovlivněna únosností nejslabšího průřezu. Lepené lamelové dřevo má v tomto smyslu vyšší pevnost než výchozí materiál. Ještě větší účinnost produktu se získá při výrobě překližky, pro kterou se z výřezů vyrábějí loupané dýhy tloušťky 1 mm až 5 mm, slepované zpravidla navzájem v pravém úhlu. Vrstvené dřevo (laminated veneer lumber, označované jako LVL) je materiál podobný překližce, u něhož však většina nebo i všechny dýhy jsou slepeny navzájem rovnoběžně. Mezi nejpoužívanější vrstvené dřevo patří momentálně Kerto (Finsko), Micro-Lam (USA), dřevo z dýhových pásů Parallam (Kanada, USA) a Intrallam (USA). Kerto se vyrábí ve dvou provedeních, a to jako Kerto-S (standardní výrobek, u něhož všechny dýhy mají souběžný směr vláken a Kerto-Q (přibližně každá pátá dýha má kolmý směr ke směru desky). Parallam je vyráběn z loupaných dýhových pásů orientovaných v podélném směru, které se po nanesení lepidla v kontinuálním lisu vytvrzují za působení tlaku a mikrovlnného ohřevu. Materiál má velmi dobré mechanické vlastnosti, vyšší požární odolnost, umožňuje jednoduché připojení sekundárních konstrukcí a také estetický vzhled, takže je často využíván i v interiéru.

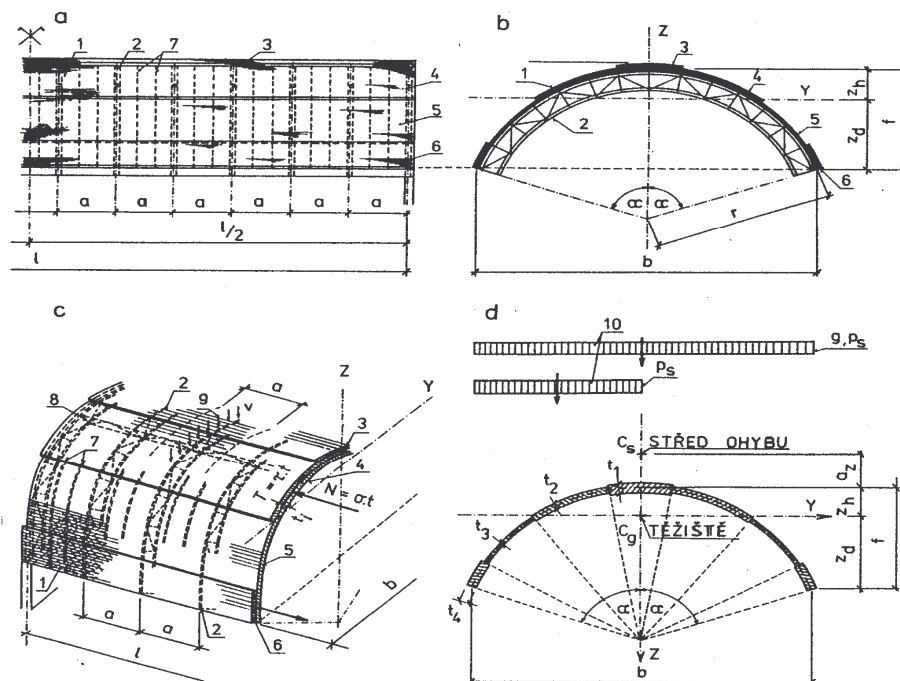
V konstrukcích skořepin a lomenic lze efektivně využít kombinace dřeva s materiály na bázi dřeva a dalšími stavebními materiály (zejména kovy a plasty). Nosný plášť je konstruován z materiálů na bázi dřeva nebo jiných materiálů, případně je vytvořen z panelů, ostatní nosné prvky jsou z rostlého nebo lepeného dřeva.

2.1.1 Dřevěné válcové skořepiny

Skořepiny válcového tvaru používané pro zastřešení stavebních objektů se konstruují z vlastní skořepinové plochy, příčných obloukových výztužných žeber, podporových žeber a okrajových nosníků. Z hlediska působení skořepin při přenosu účinků zatížení je zásadní hodnota poměru délky a šířky skořepiny. V tomto smyslu rozeznáváme **skořepiny dlouhé a krátké** (klenbové), jejichž působení se podstatně liší.

2.1.1.1 Dlouhé válcové skořepiny

Schéma konstrukční skladby dlouhé válcové skořepiny s vyznačením rozhodujících složek napětí a vnitřních sil je uvedeno na Obr. 2.4.



Obr. 2.4 – Dlouhá válcová skořepina vyztužená žebry:
a-pohled, *b*-příčný řez, *c*-skladba skořepiny s vyznačením rozhodujících vnitřních sil působících v plášti skořepiny, *d*-výpočtový průřez skořepiny:
 1-plášť skořepiny, 2-příčná výtuzná žebra, 3-zesílení tlačeného okraje, 4 a 5-vrstvy skořepinového pláště, 6-zesílení taženého okraje, 7-výtuzná žebírka, 8-podélná ztužidla, 9-zatížení příčného žebra, 10-příčné zatížení skořepiny (*g*-stálé, *ps*-sněhem)

K podrobnějšímu výpočtu a návrhu skořepin se používají odpovídající výpočtové modely řešené s použitím programových systémů. Z hlediska praktického návrhu a následného ověření výsledků řešení je však důležité předem vědět, které složky napětí, respektive vnitřních sil (jako výslednic napětí), jsou pro daný typ skořepiny rozhodující. Z toho důvodu mají své opodstatnění i zjednodušené výpočty. Na základě těchto výpočtů byly již v minulosti realizovány i konstrukce velkých rozpětí (například dlouhá dřevěná válcová skořepina délky 100 m a šířky 29 m, postavená v r. 1935 – Vlasov, V. Z. Izbrannyje trudy, Tom II, Moskva, 1963, str. 135 a 476).

Při dostatečné délce skořepiny l [m] ve srovnání s její šířkou b [m] (pro dřevěné skořepiny přibližně při poměru $l/b > 3,5$) není nutné brát v úvahu všechny složky napětí a jim odpovídající vnitřní síly, jež působí v příčných a podélných řezech pláště skořepiny podle obecné teorie skořepin. Za předpokladu účinného vyztužení příčného průřezu skořepiny jsou pro návrh rozhodující podélná normálová napětí působící ve směru povrchových přímek a smyková napětí působící ve směru tečny ke střednici průřezu. O průběhu normálového napětí po tloušťce skořepiny lze předpokládat, že je konstantní, takže výslednicí je podélná normálová síla $N = \sigma t$ [N.mm⁻¹] působící na jednotku šířky řezu. Smy-

ková napětí se obecně považují za lineárně proměnná po tloušťce skořepiny. Výslednicí smykových napětí je pak smyková síla (smykový tok) $T = \tau t$ [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$] a krouticí moment M_t [$\text{N}\cdot\text{mm}\cdot\text{mm}^{-1}$], jehož vliv však pro dimenzování dlouhých dřevěných skořepin není podstatný. Složky normálového napětí σ [MPa] a smykového napětí τ [MPa] lze určit obvyklým způsobem na základě teorie tenkostěnných prutů z vnitřních sil vztažených na celý průřez skořepiny podle vztahů

$$\sigma = \frac{M_y}{I_y} z - \frac{M_z}{I_z} y + \frac{B}{I_\omega} \omega$$

$$\tau = \frac{Q_z S_y}{I_y t} + \frac{Q_y S_z}{I_z t} + \frac{M_\omega S_\omega}{I_\omega t}$$

v nichž význam symbolů je známý z teorie vázaného kroucení tenkostěnných prutů:

σ, τ	jsou normálové a smykové napětí působící v průřezu skořepiny,
M_y, M_z	ohybové momenty k hlavním osám Y, Z průřezu skořepiny; kladný moment M_y vyvolává tahová napětí v bodech s kladnou souřadnicí z , kladný moment M_z vyvolává v tomtéž bodě tlaková napětí,
B	bimoment,
M_ω	ohybově krouticí moment (moment vázaného kroucení),
z, y, ω	hlavní ortogonální a výsečová souřadnice obecného bodu průřezu skořepiny,
I_y, I_z, I_ω	momenty setrvačnosti k hlavním osám průřezu; hlavní výsečový moment setrvačnosti
$Q_z, Q_y,$	příčné posouvající síly ve směru hlavních os průřezu,
S_y, S_z, S_ω	statické momenty odňaté části průřezu po místo působení smykového napětí,
t	tloušťka skořepiny.

Pro zabezpečení odpovídající tuhosti příčného průřezu (základním předpokladem tohoto pojetí je neproměnnost tvaru průřezu skořepiny) má být moment setrvačnosti průřezu výztužných obloukových žebër u skořepin s volnými podélnými okraji

$$I_f \geq \frac{ab^3}{4 \cdot 10^6} \quad [\text{mm}^4],$$

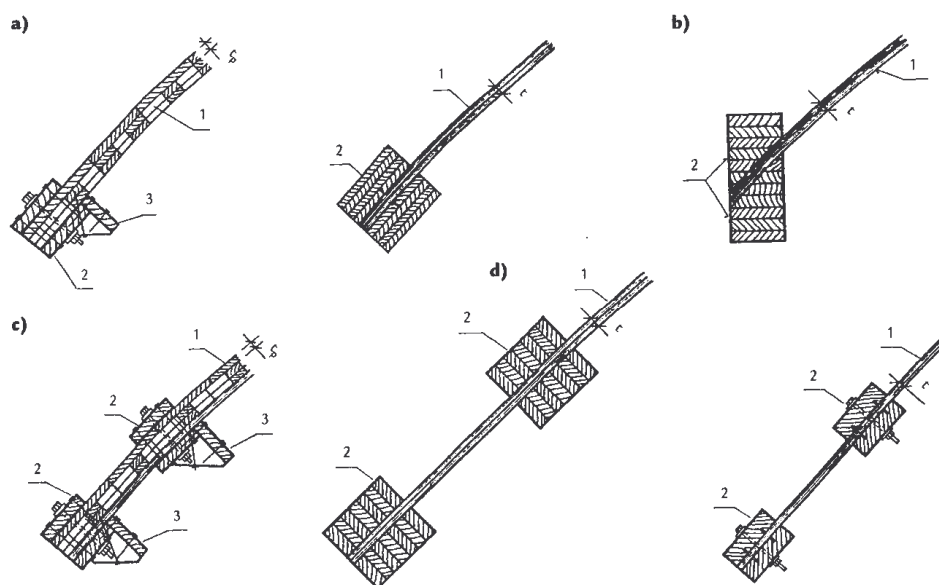
kde a [mm] je osová vzdálenost žebër, b [mm] šířka průřezu skořepiny.

Přesnější metody výpočtu dlouhých skořepin zahrnují i vliv deformace příčného průřezu. Ze srovnání výsledných hodnot napětí stanovených výše uvedeným postupem s odpovídajícími hodnotami určenými přesněji vyplývá, že u dřevěných skořepin vyztužených žebry nejsou rozdíly pro praktický návrh podstatné.

2.1.1.2 Krátké válcové skořepiny

U krátkých válcových skořepin převládá šířka b [m] nad délkou l [m]. Krátké skořepiny jsou na spodní stavbu uloženy zpravidla po obvodě a jsou tedy podepřeny na podélných okrajích i na zakřivených okrajích, respektive na obloukových vaznicích. Při přenosu účinků zatížení působí tyto skořepiny jako tenké klenby.

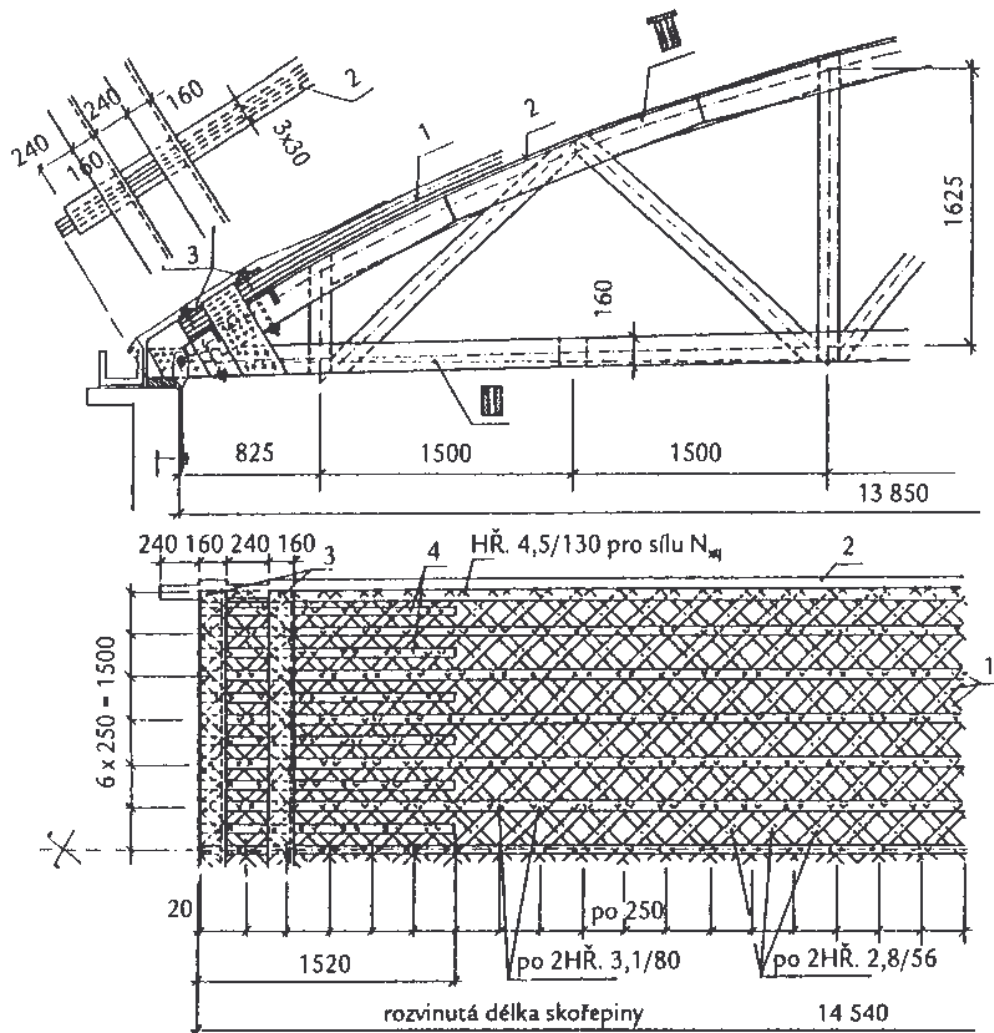
Čelní a mezilehlé vazníky (výztužná žebra), které tvoří podpory skořepinové plochy, mohou být konstruovány jako plnostěnné anebo příhradové vazníky se zakřiveným horním pásem nebo jako plnostěnné či příhradové oblouky. Geometrický tvar obloukových vazníků závisí na druhu střešní krytiny. Na podélných okrajích je skořepinová plocha podepřena okrajovými nosníky (podél patních přímk patními nosníky), při výskytu světlíků také patními nosníky světlíků. Ve dřevěných konstrukcích je účelné umístit tyto nosníky přímo do plochy skořepiny podél daných povrchových přímk, takže směr jedné z hlavních os setrvačnosti průřezu okrajového nosníku je shodný se směrem tečny ke střednicové ploše skořepiny. Stěna okrajového nosníku je pak tvořena částí skořepinové plochy, která je umístěna mezi pásy nosníku. Příčný účinek zatížení včetně vlastní tíhy okrajových nosníků a také příčné síly vznikající rušením membránového stavu skořepiny vyvolávají ohyb nosníků kolmo na plochu skořepiny. Proto je potřeba nosníky vyztužit například deskami připojenými k pásům z vnitřní strany (Obr. 2.5).



Obr. 2.5 – Konstruktivní řešení okrajových a patních nosníků skořepin:
a-nosník z jednoho pásu desek připojených ke skořepinové ploše hřebíky, *b*-nosníky lepeného lamelového průřezu, *c*-sbíjené nosníky se dvěma pásy, *d*-lepené nosníky s pásy tvořenými lamelami kolmými ke skořepinové ploše:
 1-skořepinová plocha, 2-pásy okrajového nosníku, 3-výztužný pás s ohledem na ohyb kolmo na plochu skořepiny

Příklad konstrukčního řešení válcové skořepiny s mřížovou strukturou plochy je na obr. 2.6. Skořepinová plocha může být na čelních zakřivených okra-

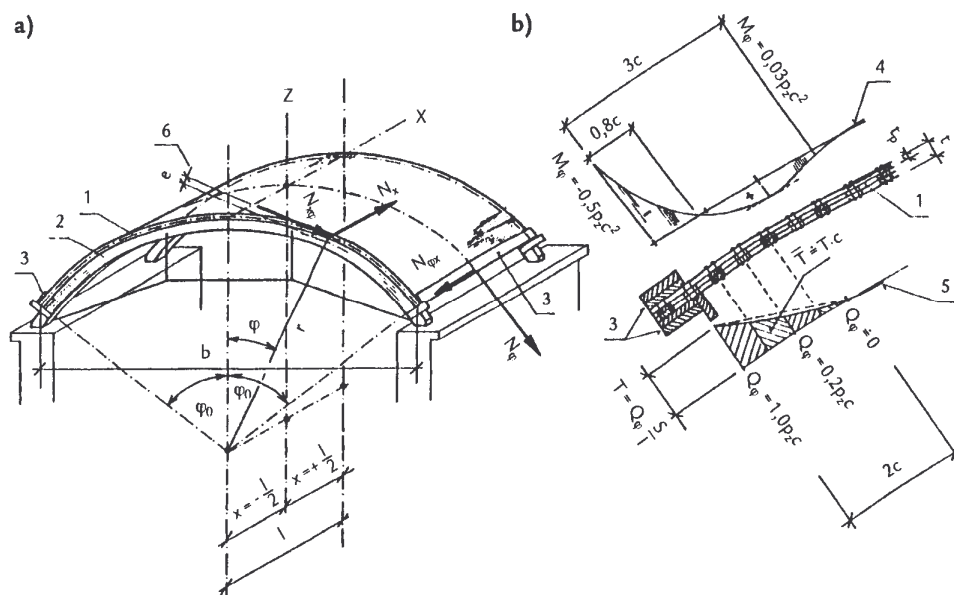
jích podepřena příhradovými vazníky, jako v uvedeném příkladu (návrh konstrukce Prof. F. Lederer), nebo oblouky.



Obr. 2.6 – Příklad konstrukčního řešení mřížové válcové skořepiny:
 1-skořepinová plocha ze tří vrstev desek, 2-příhradový vazník, 3-patní okrajový nosník, 4-zesílení skořepiny zhuštěním desek v oblasti patního nosníku pro přenesení účinku ohybu v oblasti rušení membránového stavu

Vlastní skořepinu lze řešit podle zásad stavební mechaniky na základě různých metod a postupů. Programové systémy používané pro výpočet a navrhování stavebních konstrukcí jsou vybaveny moduly pro řešení skořepin. Pro návrh je možné použít i postup při němž se uvažují vnitřní síly odpovídající membránovému stavu skořepiny a pouze v oblastech, kde je membránový stav rušen, se zahrne také vliv ohybu (účinek ohybového momentu M_ϕ a příslušné příčné síly Q_ϕ). Pro určení membránových vnitřních sil, vztažených na jednotkovou šířku řezu pláště skořepiny, lze použít vztahy uváděné v literatuře z oblasti stavební mechaniky. Jedná se o membránové síly N_ϕ , N_x , a $N_{x\phi}$ uvedené v obr. 2.7, kde N_ϕ je normálová síla působící ve směru tečny k ploše, N_x normálová síla působící ve směru povrchových přímk a $N_{x\phi}$ smyková síla působící v obou kolmých směrech. Vnitřní síly se stanovují zpravidla pro účinky zatížení stálého, sněhem a větrem a rozhodující kombinace zatížení.

U skořepin vyrobených z vrstev desek se desky, které jsou kladeny po spádu střechy (ohnuty do oblouku), dimenzují na sílu N_φ , síla N_x je obvykle malá a je přenášena spolu se smykovými silami $N_{x\varphi}$ diagonálně kladenými deskami. Pokud jsou desky horní vrstvy kladeny ve směru povrchových přímk (kolmo na čelní vazníky), přenášejí podélnou sílu N_x , zatímco obloukovou sílu N_φ a smykové síly $N_{x\varphi}$ jsou přenášeny dvěma vrstvami diagonálních desek. Vlivem rušení membránového stavu v oblastech patních a okrajových nosníků vznikají ohybové momenty M_φ a příčné síly Q_φ . Ohybový moment i příčná síla se u krátkých skořepin poměrně rychle utlumí. U mřížových skořepin se zesílení v oblasti rušení membránového stavu provádí zhuštěním desek jak je patrné z Obr. 5.6.



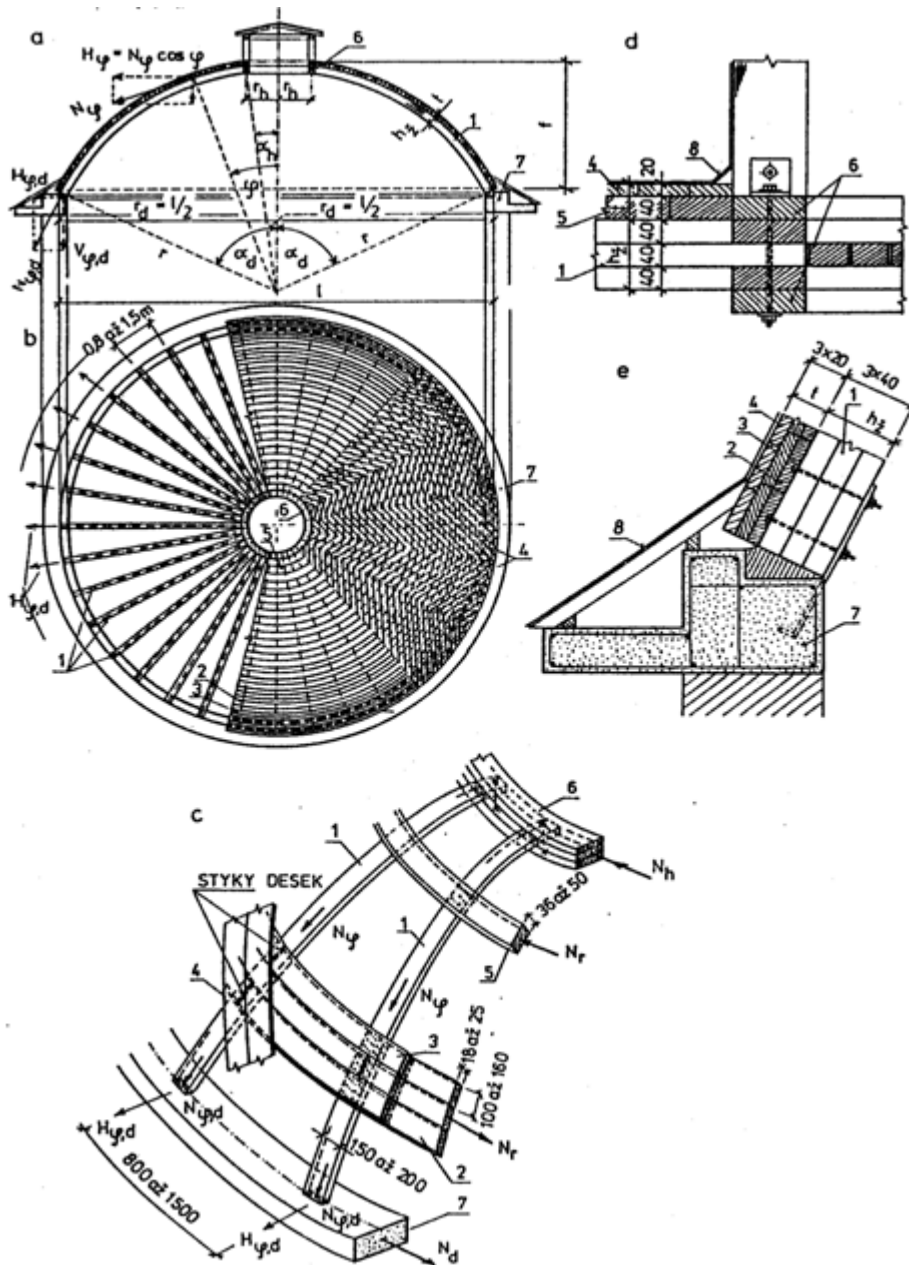
Obr. 2.7 – K působení dřevěných krátkých skořepin:
a-vnitřní síly odpovídající membránovému stavu, b-rušení membránového stavu v oblasti okrajového nosníku (M_φ je ohybový moment a Q_φ příčná síla, p_z je složka zatížení kolmá ke střední ploše, c je charakteristická úsečka):
1-skořepina, 2-čelní vazník nebo oblouk, 3-okrajový (patní) nosník, 4-průběh ohybového momentu M_φ , 5-průběh příčné síly Q_φ , 6-excentricita mezi střední plochou skořepiny těžištní osou horního pásu vazníku

2.2 Dřevěné rotační skořepiny

Rotační skořepiny se navrhují pro zastřešení objektů kruhového půdorysu. Zpravidla se jedná o kopule sférického tvaru. Pro menší rozpětí (přibližně do průměru 35 m) lze tyto konstrukce navrhovat jako **tenkostěnné skořepiny**, případně vyztužené meridiánovými žebírky s malou ohybovou tuhostí. Skořepinovou plochu lze vytvořit z několika vrstev desek spojovaných hřebíkovými spoji nebo lepením, z plošných materiálů na bázi dřeva (stavebních překližek, dřevotřískových desek, OSB desek) anebo z panelových dílců. Skořepina může být řešena také jako mřížová. Pro střední a velká rozpětí se navrhují žebrové

kopule s ohybově tuhými žebry nebo kopule vytvořené z ohybově tuhých lamelových prvků (lamelové rotační klenby).

Konstrukční skladba dřevěné tenkostěnné rotační skořepiny vytvořené z vrstev desek či fošen je znázorněna na Obr. 2.8. Základními konstrukčními prvky jsou vlastní skořepinová plocha, výztužná žebírka, patní prstenec a lucernový prstenec.

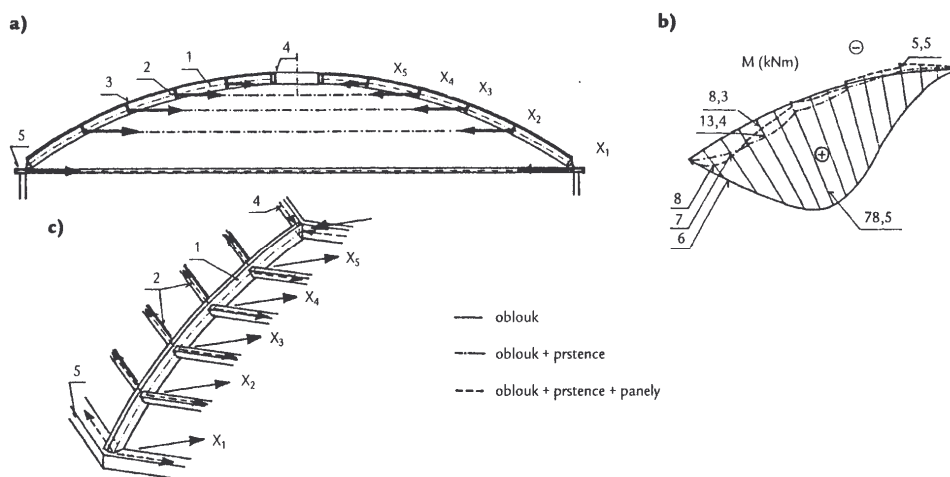


Obr. 2.8 – Dřevěná tenkostěnná rotační skořepina:

a-příčný řez, b-půdorys, c-k přenosu vnitřních sil, d-detail připojení k vrcholovému prstenci, e-podepření na patní prstenc:

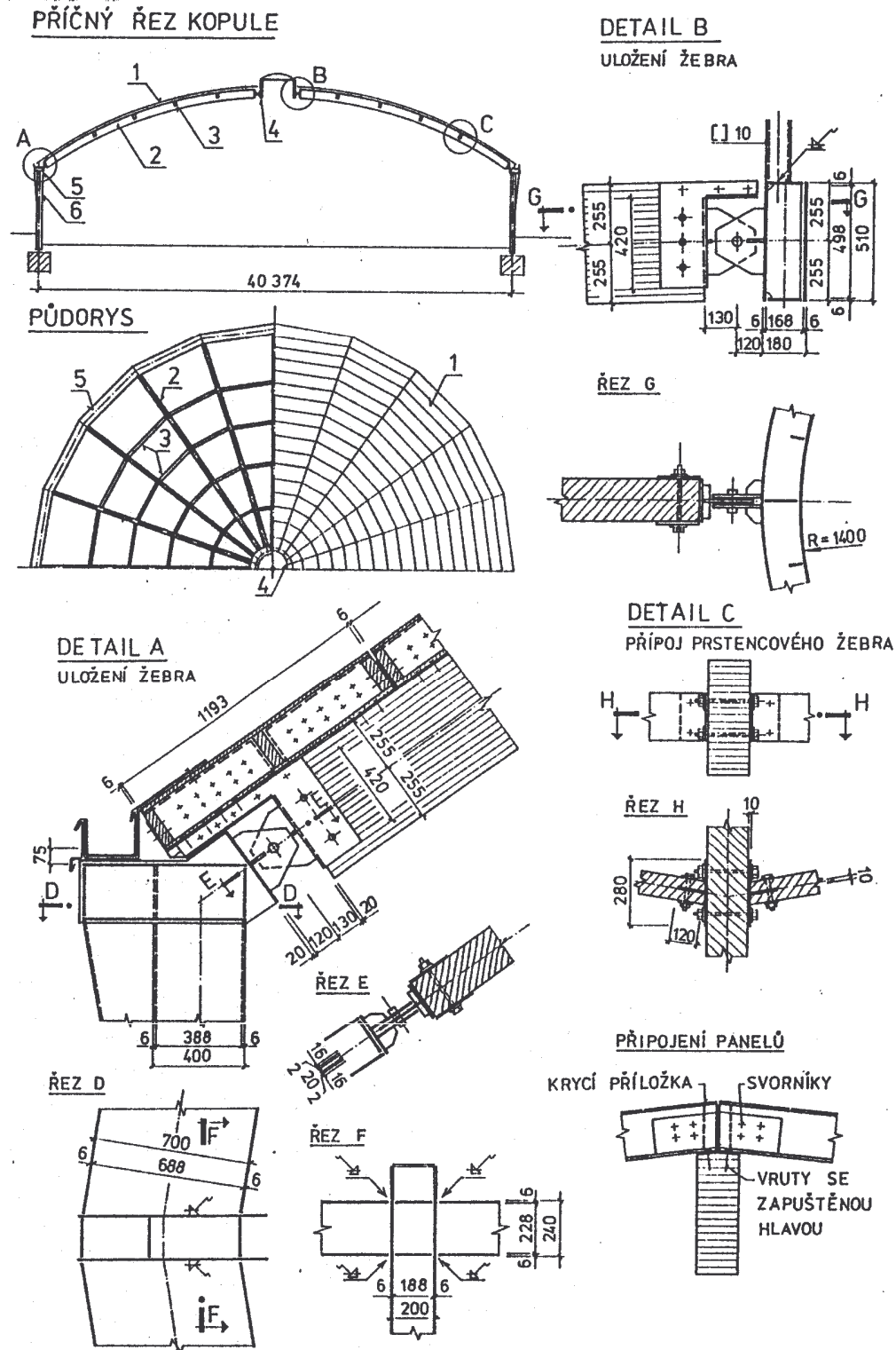
1-výztužná žebírka, 2-první vrstva rovnoběžkových desek, 3-druhá vrstva rovnoběžkových desek, 4-vrstva diagonálních desek, 5-jedna vrstva desek v tlačené části skořepiny, 6-lucernový prstenec, 7-patní prstenec, 8-krytina

Pro zastřešení kruhových nebo mnohoúhelníkových půdorysů středních a velkých rozpětí se navrhuje rotační **skořepiny vyztužené žebry**. Od tenkostěnných skořepin se odlišují ohybově tuhými obloukovými žebry probíhajícími v meridiánovém směru, případně i obvodovými žebry (Obr. 2.9). Tuhost žeber má zásadní vliv na celkové působení skořepiny. V případě, že tuhost žeber je malá, blíží se působení konstrukce tenkostěnným skořepinám, je-li naopak tuhost žeber velká, lze za primární soustavu považovat konstrukci tvořenou radiálními obloukovými žebry. Z porovnání hodnot ohybových momentů (Obr. 2.9b) je patrné, že při spolupůsobení panelů skořepinové plochy s radiálními žebry dochází k výraznému zmenšení ohybového namáhání žeber kopule.



Obr. 2.9 – K působení kopule vyztužené radiálními a obvodovými žebry: a-řez kopulí, b-průběh ohybových momentů od rovnoměrného zatížení, c-působení sil X_i v místech připojení obvodových žeber k radiálním žebřům: 1-radiální žebra, 2-obvodová žebra, 3-skořepinová plocha, 4-lucernový prsteneček, 5-patní prsteneček, 6-průběh momentů za předpokladu, že zatížení je přenášeno pouze radiálními žebry, 7-na přenosu zatížení se podílejí radiální i obvodová žebra, 8-spolupůsobí i plášť skořepiny

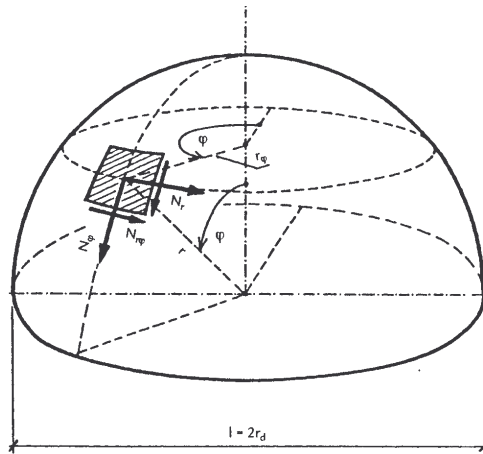
V praxi jsou používány konstrukce obou typů. Vlastní skořepinová plocha může být provedena z vrstev bednění, ale v současných konstrukcích se pro vytvoření skořepin používají panelové dílce. Meridiánová žebra ovlivňují příznivě působení konstrukce jako celku neboť zvyšují tuhost skořepiny, umožňují přenesení lokálních zatížení, zajišťují dodržení předpokládaného geometrického tvaru a usnadňují montáž konstrukce. U nových konstrukcí se žebra navrhuje jako oblouky lepeného lamelového průřezu. Při řešení přípojů se používají ocelové konstrukční prvky. K problematice teoretické analýzy, experimentálního výzkumu i praktické realizace těchto skořepin je zaměřen velký počet prací našich i zahraničních autorů. Jako příklad novodobého řešení je v tomto textu uvedena konstrukce kopule vyvinutá kolektivem pracovníků STU Bratislava (Dutko,P., Draškovič,F., Kaiser,J., Ravinger,J.) znázorněná na Obr. 2.10. Konstrukce je vytvořena ze střešních panelů, lepených obloukových žeber a obvodových žeber. Lucernový a patní prsteneček je ocelový. V naší a zahraniční odborné literatuře lze pak najít řadu dalších příkladů konstrukcí žebrových skořepin. Základní principy konstrukčního řešení jsou stejné jako v uvedeném příkladu. Důležitou otázkou z hlediska celkového působení žebrových skořepin je účinnost spojení skořepinové plochy s vyztuženými žebry.



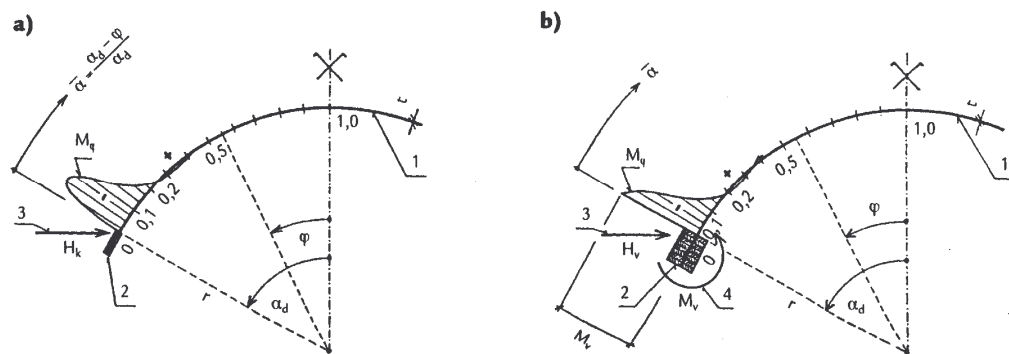
Obr. 2.10 – Skladba a konstrukční detaily kopule vyztužené radiálními a obvodovými žebry:

1-skořepinová plocha vytvořená z panelů, 2-lepená oblouková žebra, 3-obvodová žebra, 4-ocelový lucernový prstenec, 5- patní prstenec, 6- ocelové sloupky spodní stavby

Při dimenzování plnostěnných tenkostěnných rotačních skořepin lze, podobně jako u válcových skořepin, vycházet z membránového stavu s uvážením vlivu ohybu v oblastech patního a lucernového prstence. Vnitřní síly odpovídající membránovému působení rotační skořepiny N_φ , N_r a $N_{r\varphi}$ jsou znázorněny na Obr. 2.11 a vliv ohybu v oblasti okraje skořepiny je na Obr. 2.12. Vztahy pro určení membránových vnitřních sil sférických skořepin pro jednotlivé zatěžovací stavy (zatížení stálé, sněhem a větrem) jsou běžně uváděny v literatuře z oboru stavební mechaniky. Dřevěné rotační skořepiny jsou na spodní stavbu ukládány prostřednictvím patního prstence. Skořepina může být v prstenci podepřena způsobem přibližně odpovídajícím kloubovému podepření (malá tuhost prstence v kroucení - Obr. 2.12a) anebo může být do tuhého prstence vetknuta (Obr. 2.12b). Z vnitřních sil vznikajících rušením membránového stavu je pro návrh skořepiny rozhodující ohybový moment M_φ , který se, podobně jako v případě válcových skořepin, poměrně rychle utlumí. Vztahy pro určení ohybového momentu jsou uváděny v literatuře z oboru stavební mechaniky.



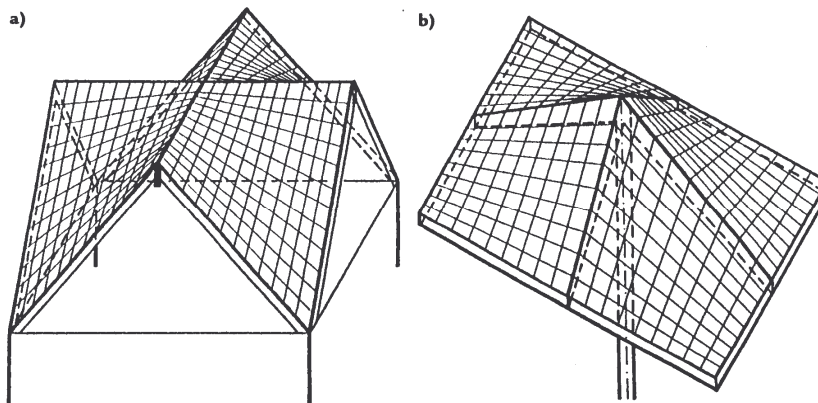
Obr. 2.11 – Membránové vnitřní síly rotačních skořepin:
 N_φ – normálové síly působící ve směru meridiánu, N_r – normálové síly působící ve směru rovnoběžek a $N_{r\varphi}$ – smykové síly



Obr. 2.12 – Průběh ohybového momentu M_φ v oblasti okraje rotační skořepiny:
 a-kloubově podepřený okraj, b-okraj vetknutý do tuhého prstence:
 1-plášť skořepiny, 2-patní prstenc, 3-vodorovná složka reakce, 4-ohybový moment v patním prstenci

2.3 Dřevěné hyperbolicko-parabolické skořepiny

Podstatou hyperbolicko-parabolických skořepin (HP skořepin) je z geometrického hlediska **zborcená plocha** vytvořená nad pravoúhlým půdorysem mezi okrajovými nosníky. Dva protilehlé okrajové nosníky mají vzájemně mimoběžnou polohu. Vlastní plocha může být zhotovena jako souvislá z panelů anebo z deskového řeziva. HP skořepiny se ve střešních konstrukcích používají ve tvaru jedné HP plochy anebo ve tvaru složeném z více těchto ploch (Obr. 2.13). Okrajové nosníky jsou zpravidla podepřeny v rozích pravoúhlého půdorysu. Přístřešky mohou být řešeny tak, že skořepina je podepřena spádovými žebry, která jsou ve středu útvaru vetknuta do středového sloupu. Konstrukce může být řešena i tím způsobem, že spád střešní plochy směřuje ke středu a sloup se pak provede dutý a vede se jím odpad vody. Uvedené střešní útvary je možné využít i pro zastřešení větších prostorů. Jsou-li po obvodě takového objektu provedeny stěny, je jimi zabezpečena prostorová stabilita objektu (využívá se tuhosti stěn pro přenesení sil od účinků zatížení působícího na konstrukci). V tomto případě není nutné vetknutí spádových žebér do sloupů a rovněž sloupů do základu. Jednotlivé skladebné dílce tvořené čtyřmi HP plochami, tuhými okrajovými nosníky a čtyřmi spádovými žebry mohou být na vrcholy sloupů uloženy kloubově, konstrukce se tak podstatně zjednoduší.



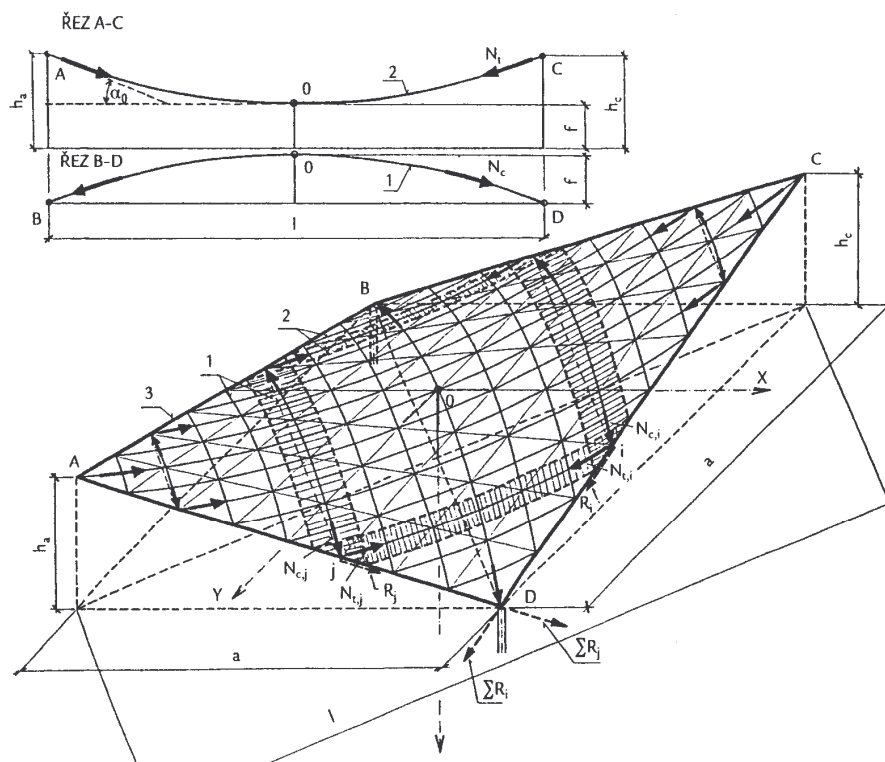
Obr. 2.13 - Hyperbolicko-parabolické skořepiny:
a-střešní plocha ze čtyř HP ploch podepřená v rozích pravoúhlého půdorysu,
b-skořepina podepřená středním sloupem vetknutým do základu

Důležitou charakteristikou HP skořepin je poměr vzepětí f [m] a rozpětí l [m]. Vzepětí HP skořepiny je definováno vztahem

$$f = \frac{(h_a + h_c)}{4} - \frac{(h_b + h_d)}{4}$$

kde h_a, h_c jsou výšky rohů konkávní paraboly v bodech A, C a h_b, h_d výšky rohů konvexní paraboly v bodech B, D . V případě, že body B, D leží v rovině proložené podporami a rohové body A, C mají od této roviny stejnou vzdálenost, tedy $h_a = h_c = h$, je vzepětí skořepiny $f = h/2$. Ve stavebních dřevěných konstrukcích má být poměr $f/l > 1/15$, kde l je délka diagonály. Skladba HP skořepiny s vyznačením geometrických parametrů je uvedena na Obr. 2.14. Při

dodržení uvedené podmínky jsou ohybová napětí ve skořepině malá a skořepina má i dostatečnou stabilitu proti boulení.

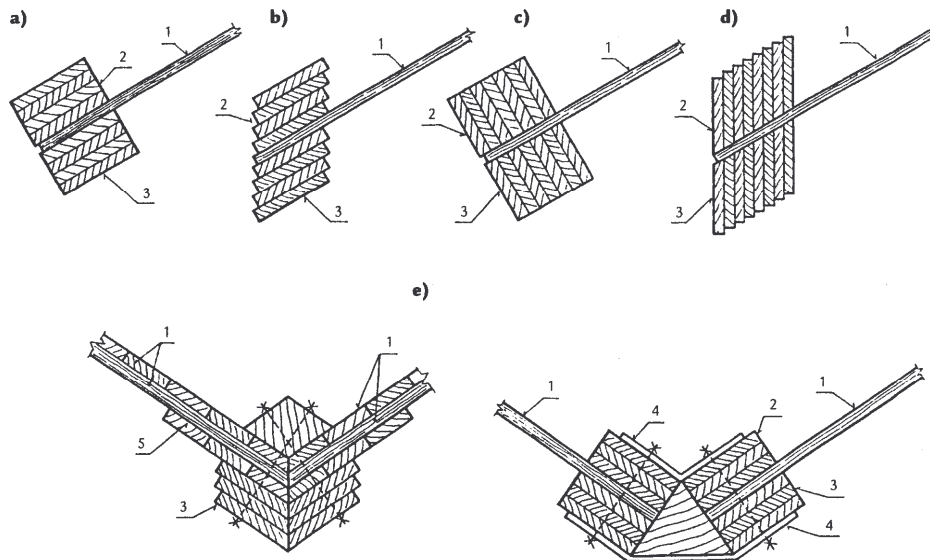


Obr. 2.14 - K působení hyperbolicko-parabolické skořepiny:
1-soustava obloukových prvků, 2-soustava vláknových prvků, 3-okrajové nosníky

Při výpočtu vnitřních sil působících v HP skořepinách lze rovněž vycházet, pokud se nepočítá přesněji, z membránové teorie. Zjednodušeně lze také postupovat tím způsobem, že se stanoví síly v soustavě obloukových a vláknových prvků, jak je znázorněno na Obr. 2.14. Vztahy pro výpočet těchto sil lze nalézt v odborné literatuře pojednávající o výpočtu HP skořepin. Z tohoto pojetí také vychází konstrukční řešení HP skořepin vytvářených z vrstev desek. Část vnějšího zatížení, která je přenášena obloukovým účinkem, a část přenášena vláknovým účinkem, závisí na tuhosti jednotlivých prvků. Má-li být zatížení přenášeno tak, že jednu jeho polovinu přeneše tlačaná vrstva a druhou tažená vrstva, musí být tuhost účinného průřezu skořepiny v tahu a v tlaku stejná. V prvcích parabolického tvaru vznikají při rovnoměrném zatížení pouze tlakové normálové síly N_c a tahové síly N_t , což odpovídá membránovému stavu. Akce obloukových a vláknových prvků se přenášejí okrajovými nosníky. Plocha skořepiny je zpravidla navrhována z několika vrstev desek. Pro malá rozpětí se desky mohou klást ve dvou na sebe kolmých vrstvách, a to ve směru konkávních a konvexních parabolických prvků. Spojení vrstev v místech vzájemného křížení desek je třeba provést nejméně čtyřmi hřebíky nebo lepeným spojem. Pro větší rozpětí se provádějí tři vrstvy desek, které mohou být uspořádány různým způsobem. Vnější vrstvy lze například orientovat ve směru působení tlakových sil a střední vrstvu ve směru působení tahových sil. Při tomto konstrukčním uspořádání má skořepina větší ohybovou tuhost ve směru působení tlakových sil a tím i větší bezpečnost proti vyboulení plochy, ale má menší

smykovou tuhost. Větší smykovou tuhost lze dosáhnout šikmým kladením desek vnějších vrstev tak, že horní a dolní vrstva mezi sebou svírají úhel přibližně 30° . Mezi střední vrstvou, která probíhá ve směru tahových sil, a vnějšími vrstvami je úhel asi 75° . Toto provedení HP skořepiny je účinnější při zatížení větrem. Ohybová tuhost skořepiny je sice menší, ale zpravidla dostačující. Pro velká rozpětí se navrhuje i vrstvy čtyři, které mohou být kladeny ve dvou kolmých směrech nebo šikmo pod zvoleným úhlem.

Okrajové nosníky HP skořepin jsou namáhány osovými silami a ohybovými momenty při působení nesymetrických zatížení. Konstrukčně jsou obvykle navrhovány ze dvou částí, mezi nimiž je umístěna plocha skořepiny. Průřez nosníků je zpravidla lepený, sestavený z ležatých nebo stojatých lamel. Používané typy průřezů okrajových nosníků jsou uvedeny na Obr. 2.15. Styčná plocha mezi okrajovým nosníkem a skořepinou je zborcená, proto lamely průřezu nosníku mají vrtulovitý tvar sledující tvar okrajové části skořepinové plochy, jak je znázorněno na Obr. 2.16.

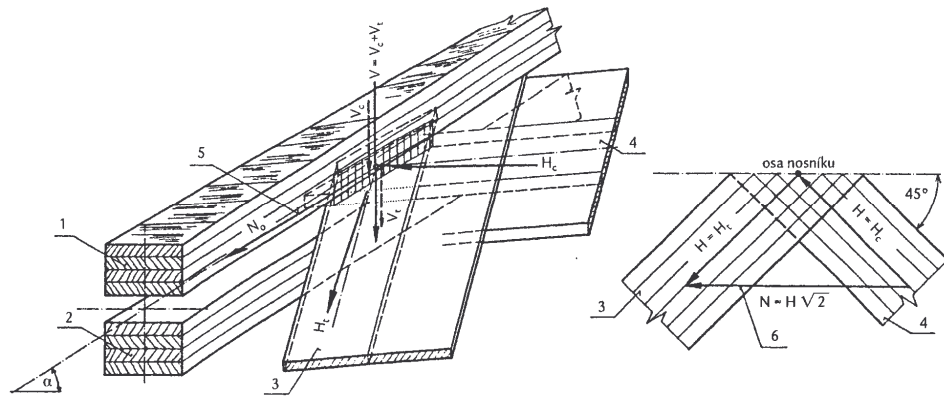


Obr. 2.15 - Průřezy okrajových nosníků HP skořepin:

a, b-z ležatých vrtulovitě zakřivených lamel, c-ze stojatých vrtulovitě zkroucených lamel, d-ze stojatých nezakřivených lamel, e-nosník spojující dvě sousední HP plochy:

1-skořepinová plocha, 2-horní díl okrajového nosníku, 3-dolní díl okrajového nosníku, 4-kovové příložky, 5-zesílení skořepiny

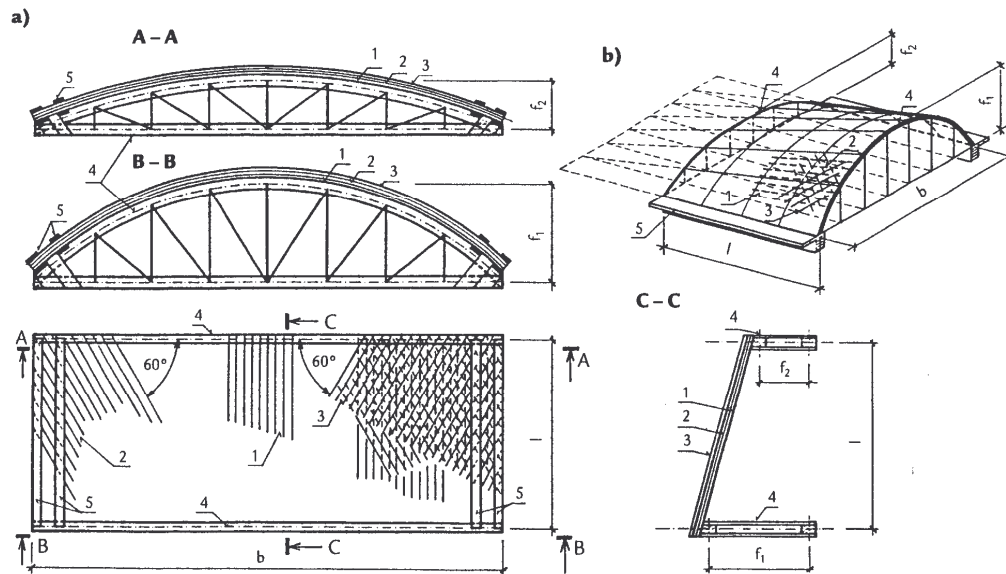
Montáž HP skořepin je vhodné provádět tak, že se na dolní díly okrajových nosníků kladou jednotlivé vrstvy desek a nakonec se připojí předem připravený horní díl okrajového nosníku. Ke spojení lze použít hřebíků, svorníků kovových desek s vylišovanými trny, nejučinněji však lepení. Účelná jsou rychle tuhnutí lepidla umožňující na staveništi rychlou aktivaci spojů.



Obr. 2.16 - Připojení vrstev HP skořepinové plochy k okrajovému nosníku: 1-horní díl okrajového nosníku, 2-dolní díl okrajového nosníku, 3-tažená vrstva, 4-tlačená vrstva, 5-výslednice sil jako osová síla v okrajovém nosníku, 6-složkový obrazec

2.4 Dřevěné konoidické skořepiny

Mezi tenkostěnné skořepiny patří také konoidické skořepiny. Konoidická plocha je ukončena dvěma svislými řezy tak, aby řez byl obloukový a poskytoval dostatečný spád střešní plochy. Skořepinová plocha je uložena na čelní stěny nebo vazníky a na okrajové patní nosníky.



Obr. 2.17 - Skladba dřevěné konoidické skořepiny: a-skořepina ze tří vrstev desek a okrajovými nosníky konstruovanými v ploše skořepiny, b-schéma skořepiny s lepenými okrajovými nosníky: 1-dolní vrstva desek, 2-střední vrstva, 3-horní vrstva, 4-čelní vazníky nebo stěny, 5-okrajové nosníky provedené v ploše skořepiny

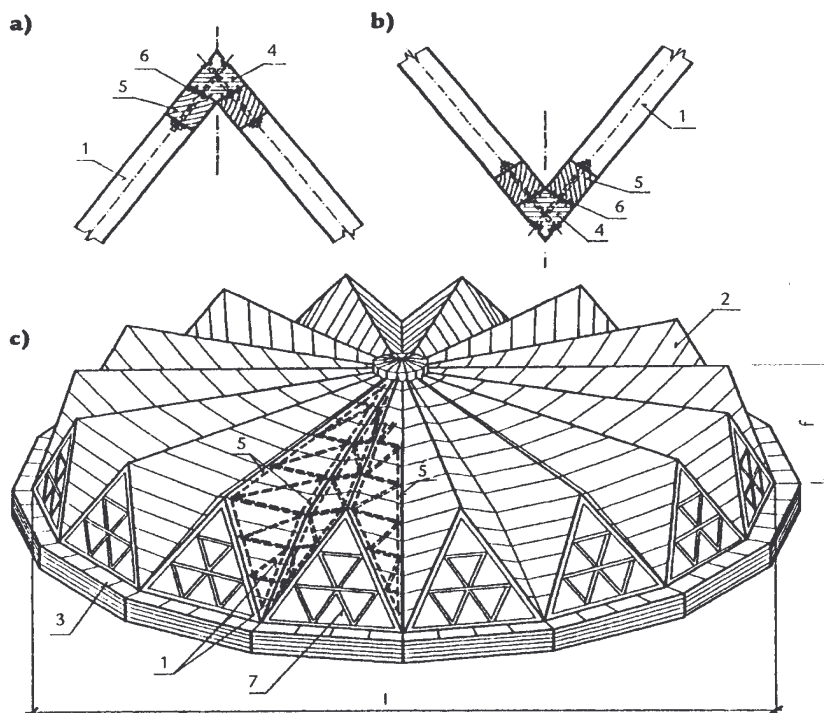
Vazníky se navrhují jako dvojklobbové oblouky s táhlem nebo jako příhradové nosníky se zakřiveným horním pásem. Podélné okrajové (patní) nosníky

se řeší stejným způsobem jako v případě válcových skořepin. Vhodné jsou nosníky lepeného lamelového průřezu, které jsou uspořádány tak, aby mohly přenášet okrajové síly skořepiny.

Skořepinová plocha je zpravidla vyrobena z desek kladených ve třech vrstvách. Skořepina může být také provedena z plošných panelových dílců. Sešavením několika konoidických skořepin v podélném směru za sebou lze vytvořit. Dolní vrstva probíhá ve směru tvořících přímk, obě další vrstvy jsou orientovány pod úhlem 60° vzhledem k horním pásům vazníků. Konstruktivní skladba skořepiny tohoto typu je patrná z Obr. 2.17. pilovou střechu šedového typu. Výpočet konoidických skořepin je analogický jako u krátkých válcových skořepin.

2.5 Dřevěné lomenice

Lomenice, podobně jako skořepiny, patří do skupiny prostorových konstrukcí. Nosná plocha lomenic se vytváří z desko-stěnových plošných dílců spojovaných ve hranách. Vhodné jsou pro tento účel plošné materiály na bázi dřeva (překližky, dřevotřískové desky, OSB desky, ale i další materiály) a panelové dílce. Základní tvar lomenice je uveden na Obr. 2.1d. Lomenice je podepřena na čelních stěnách a působí obdobně jako dlouhá válcová skořepina, ovšem průřez lomenice je pilovitý.



Obr. 2.18 - Dřevěná kruhová lomenice:

a-spojení horních pásů plošných dílců (panelů), b-spojení dolních pásů, c-celková skladba lomenice:

1-plnostěnné nebo příhradové rovinné dílce, 2-střešní plášť, 3-patní prstenec, 4-spojovací nárožní prvek, 5-průřezy pásů, 6-kovové hmoždinky, 7-čelní stěny

Lomenicové dílce je možné uspořádat také radiálně a vytvářet tak lomenicové kopule nad kruhovým půdorysem. Lomenicové dílce jsou v tom případě podepřeny na patním prstenci a spojeny jsou ve vrcholu prostřednictvím lucernového prstence. Příklad skladby kruhové lomenice je na Obr. 2.18.

3 Dřevěné prutové prostorové konstrukce

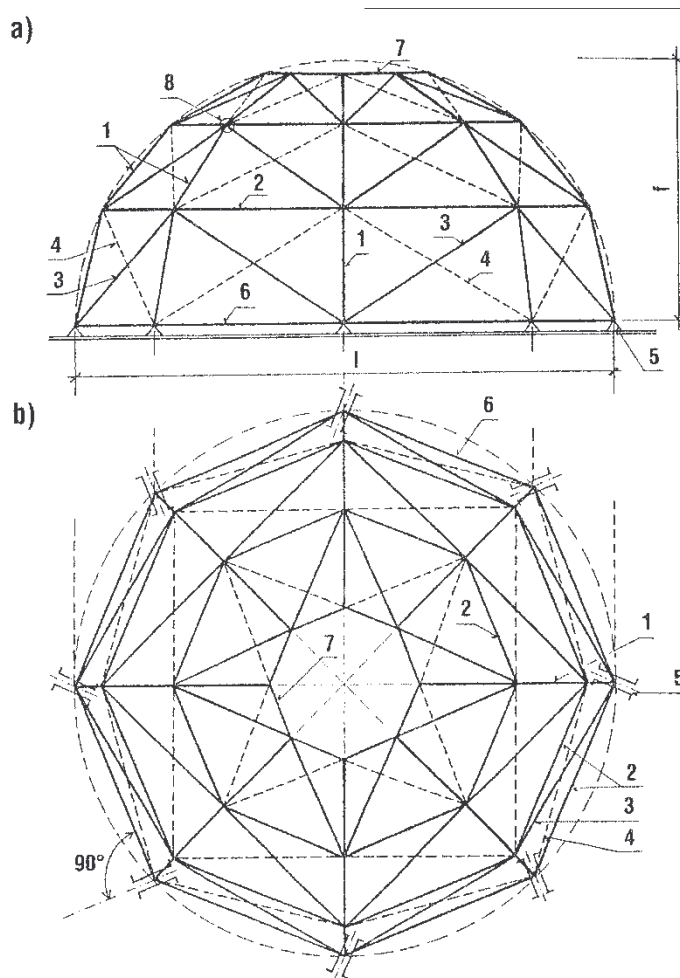
Kapitola obsahuje konstrukce, jejichž primární nosná konstrukce je vytvořena z prutových prvků (přímých prutů - nosníkových, zakřivených prutů - obloukových nebo zalomených-rámových prutů). Na primární konstrukci je uložen střešní plášť. Jak již bylo uvedeno v kap. 2 u plnostěnných konstrukcí, celkový nosný systém představuje vždy konstrukci vytvořenou z prutových i plošných prvků. Z hlediska tradičního rozdělování dřevěných konstrukcí záleží na tom, která část nosné konstrukce je dominantní. U plnostěnných konstrukcí je to souvislá nosná vrstva (skořepinová nebo lomenicová), zatímco prutové prvky mají funkci výztužnou. U prostorových prutových konstrukcí (do této skupiny patří i příhradové konstrukce se styčníky, které lze považovat ve výpočtových modelech za kloubové) je základní nosná soustava vytvořena z prutů a plášť je na tuto soustavu uložen.

Obecně je možné do prostorových prutových konstrukcí zařadit i konstrukce dřevěných budov. Základní soustava (skelet) je prostorový rám, konstrukce stěn a stropů jsou z desko-stěnových prvků.

3.1 Dřevěné prutové kopule

Z prostorových prutových konstrukcí tohoto typu se nejvíce uplatňují klasické soustavy Schwedlerova, Föpplova, Zimmermannova, Fullerova geodetická soustava, případně i další speciálním způsobem uspořádané soustavy.

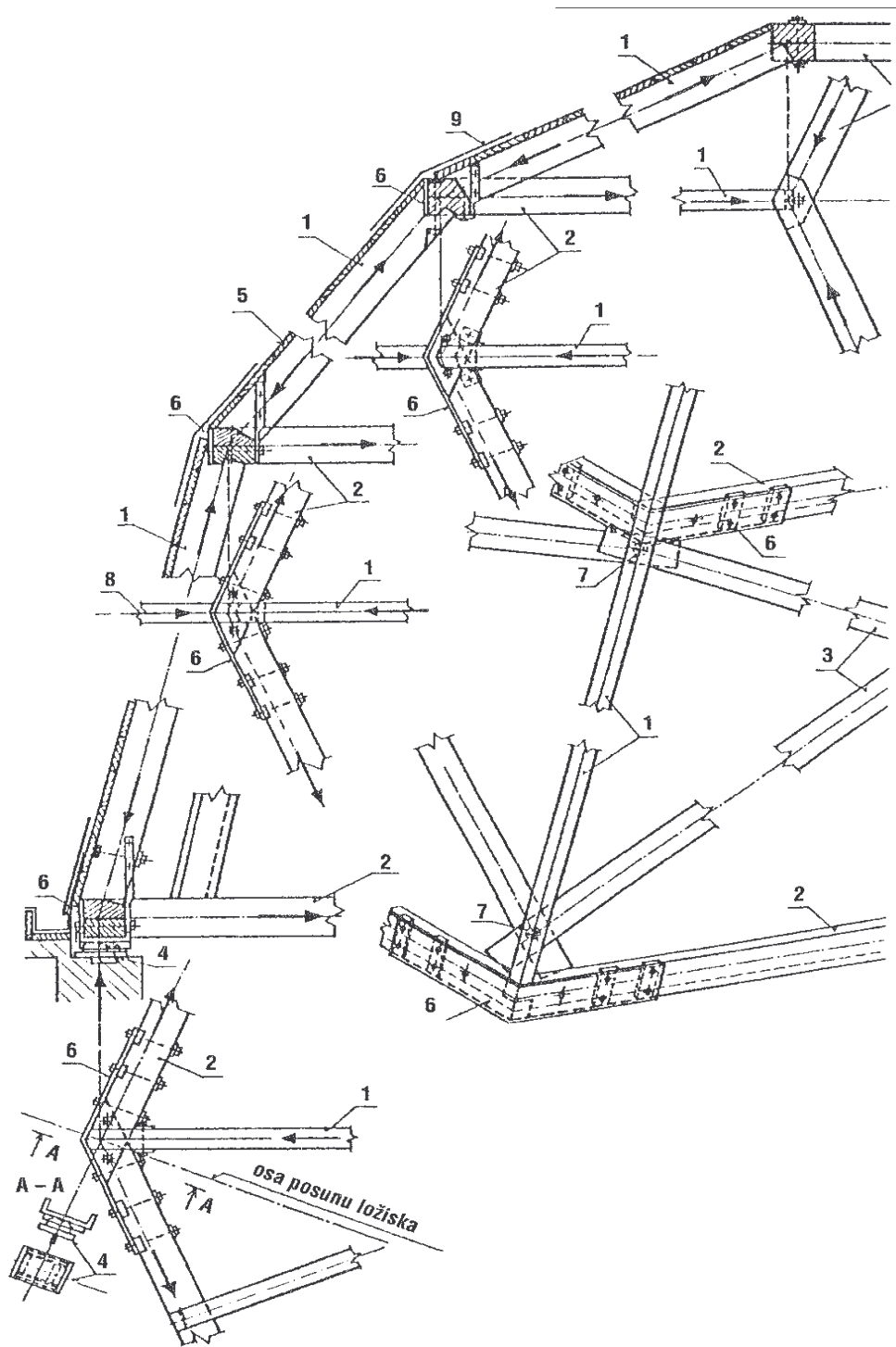
Základní nosná soustava prutových kopulí je vytvořena z prutů, které jsou spojeny ve styčnicích ležících na určující geometrické ploše (u kopulí zpravidla na sférické ploše). Konstrukční provedení styčnic odpovídá přibližně kloubovému spojení. Jednou z nejvíce používaných soustav tohoto typu je soustava Schwedlerova charakteristická tím, že styčníky soustavy jsou umístěny v průsečících osnove meridiánových a rovnoběžkových prutů. Schéma soustavy je uvedeno na Obr. 3.1. V každém čtyřúhelníku omezeném dvěma rovnoběžkovými pruty (vaznicovými) a dvěma meridiánovými pruty (nárožníkovými-krokovými) je diagonální prut, který tento čtyřúhelník rozděluje na dva trojúhelníky ležící ve stejné rovině. Diagonály v sousedních polích (příhradách) mohou být protisměrné (Schwedlerova soustava I. druhu) anebo mohou být stejného směru (Schwedlerova soustava II. druhu). V oboru dřevěných konstrukcí se v některých případech vkládají do příhrad diagonály zkřížené (Obr. 3.1). Schwedlerova soustava není z hlediska stavební mechaniky nikdy výjimečným případem.



Obr. 3.1 - Schéma skladby dřevěné kopule Schwedlerovy soustavy:
a-pohled, b-půdorys:

1-meridiánové (krokvové) pruty, 2-rovnoběžkové (vaznicové) pruty, 3-diagonální pruty, 4-varianta diagonálních prutů zkřížených, 5-ložiska typu kluzných přímek, 6-patní prstenec, 7-vrcholový prstenec, 8-prostorové styčníky

U konstrukcí menších rozpětí jsou pruty vyrobeny z hraněného řeziva, které jsou ve styčnicích připojeny pomocí tesařských spojů zabezpečovaných svorníky a ocelovými příložkami jak je znázorněno na obr. 3.2. Šipkami v osách prutů je vyznačen způsob namáhání prutů (šipky směřující do styčnicku značí tlakovou osovou sílu v prutu, zatímco šipky směřující od styčnicku značí tahovou osovou sílu působící v prutu). Tlačené meridiánové pruty se do styčniců připojují kontaktem (zapuštěním). Tažené rovnoběžkové pruty se spojují zalomenou pásovou ocelí s navařenými ozuby, které přenášejí celý účinek tahu. Pro připojení diagonál se používají hmoždinky typu Bulldog zalisované do dřeva prutů. Diagonály jsou částečně kámpované s meridiánovými nárožníky. Do soustavy je třeba vložit ještě sekundární nosné prvky – mezilehlé krokve, případně i vazničky, ve vzdálenostech 0,8 až 1,2 m, které spolu s bedněním vytvoří plochu kopulovitého mnohostěnu.



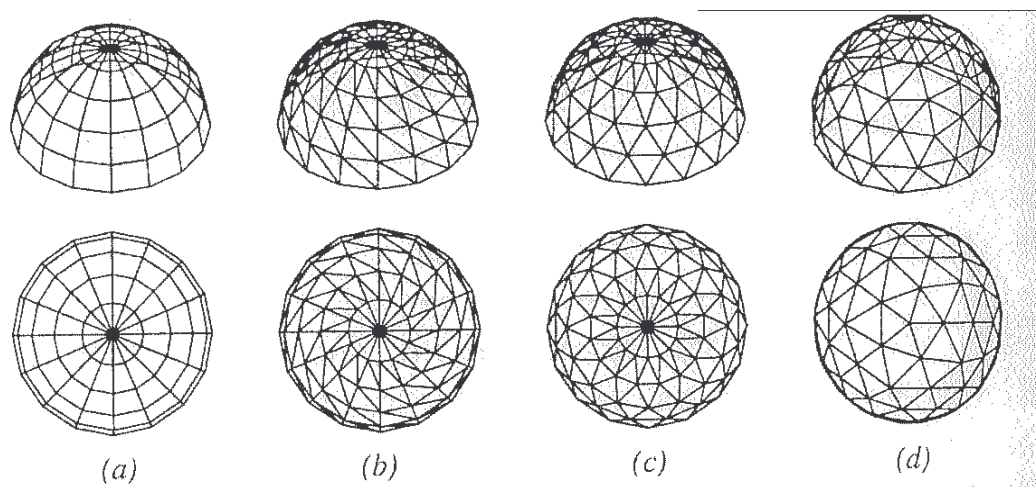
Obr. 3.2 – Příklad skladebného a konstrukčního řešení dřevěné kopule Schwedlerovy soustavy:

1-meridiánové pruty, 2-rovnoběžkové pruty, 3-diagonální pruty, 4-ocelová ložiska, 5-bednění, 6-ocelové příložky s navařenými ozuby, 7-zazubené hmoždinky typu Bulldog, 8-působení osových sil v prutech soustavy, 9-krytina

Při navrhování uvedených soustav lze uplatnit i další varianty konstrukčního řešení. Silně namáhané pruty u konstrukcí větších rozpětí lze navrhovat z lepeného dřeva, přípoje prutů řešit pomocí ocelových styčnických elementů, pro diagonální pruty lze použít také ocelové profily. Nosná vrstva střešního

plášť se ukládá na hlavní nosné pruty soustavy, případně ještě na vložené krokve a vazničky. Pruty je třeba dimenzovat na kombinaci namáhání osovými silami a ohybu.

Konstrukční řešení dalších prutových soustav (Obr. 3.3) je analogické jako u soustavy Schwedlerovy, uspořádání prutů je však odlišné. Často používaná Föpplova soustava je charakteristická tím, že styčníky neleží na stejném meridiánu, ale jsou v každém patře posunuty o polovinu délky příhrady. Počet stran Föpplovy kopule má být nepravidelný (půdorys lichouhelníkový). Při pravidelném počtu a stejné velikosti stran se konstrukce stává kinematicky neurčitou a citlivou na nesymetrická zatížení (sněhem a větrem). Pruty Schwedlerovy a Föpplovy soustavy propojují styčníky, které jsou umístěny na sférické ploše. Pruty geodetické kopule (původce R.B. Fuller) jsou umístěny na kružnicích, geodetických liniích koule.

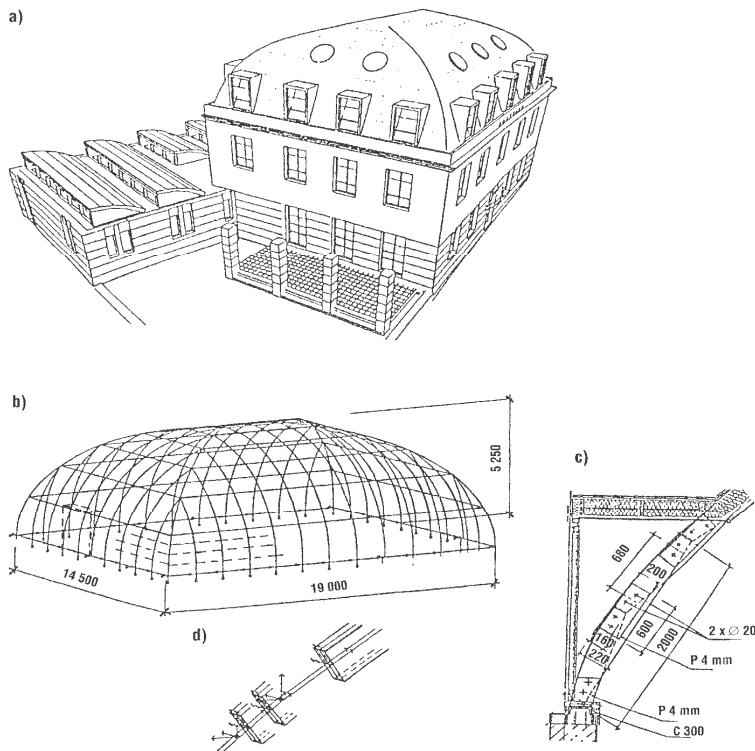


Obr. 3.3 – Základní typy prutových kopulí:
a-žebrová kopule s radiálními obloukovými žebry, b-Schwedlerova kopule, c-Föpplova kopule, d-Fullerova geodetická kopule

3.2 Dřevěné žebrové kopule a klenby

V praxi nejrozšířenější skupinu klenbových a kopulových konstrukcí představují žebrové kopule a klenby. Základním nosným dílcem žebrových konstrukcí jsou ohybově tuhá oblouková nebo rámová žebra, která jsou u kopulí umístěna radiálně, u válcových klenb zpravidla paralelně. Na tato žebra je uložena nosná vrstva střešního pláště, která může být též využita jako součást hlavního nosného systému konstrukce.

Základním nosným prvkem **žebrových klenb** jsou oblouková žebra, na která se připojuje nosná vrstva střešního pláště tvořená obvykle bedněním nebo panely. Žebra zakřiveného tvaru lze vyrobit v podstatě dvojím způsobem, a to jako prvky lepeného průřezu nebo jako prvky sestavené ze souběžných profilů desek či fošen spojovaných mechanickými spoji (na principu oblouků de L'Orme). Pro konstrukce větších rozpětí je nutné použít žebra z lepeného lamelového dřeva nebo vrstveného dřeva.



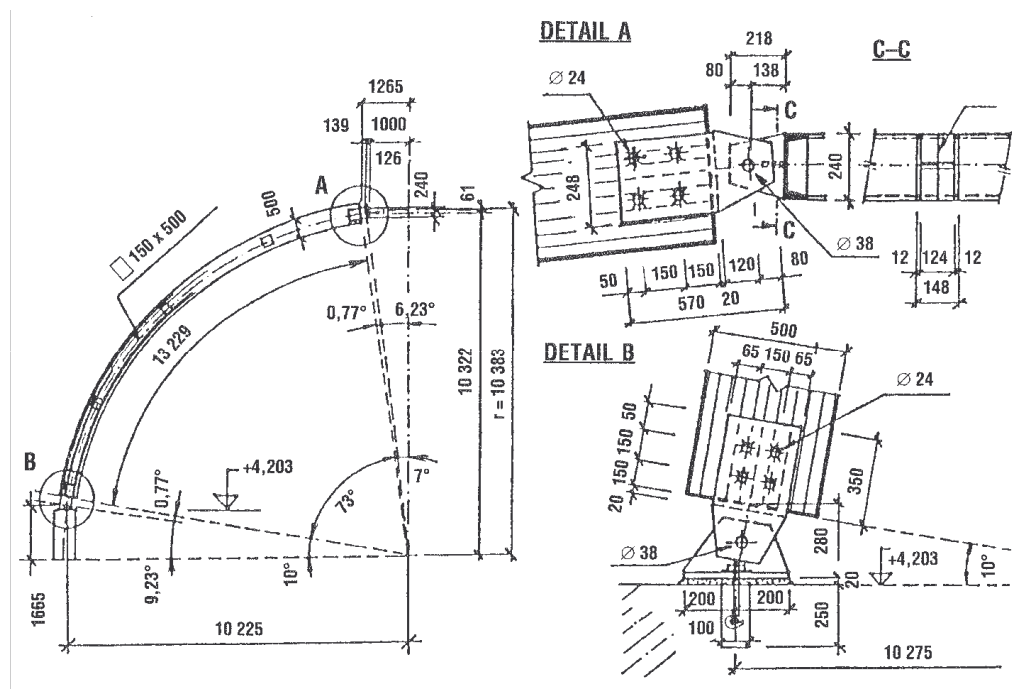
Obr. 3.4 – Dřevěná žebrová klenba:
 a-architektonická studie střechy, b-geometrické schéma výpočtového modelu,
 c-skružová oblouková žebra, d-průřez žeber sestavený ze dvou fošen



Obr. 3.5 – Realizovaná konstrukce typu žebrové klenby pro zastřešení školní budovy v Brně Soběšicích, r. 1995 (architektonické řešení Doc. Ing.arch. M. Stehlík, CSc., dřevěná nosná konstrukce Doc. Ing. B. Straka, CSc.)

Na Obr. 3.4 a 3.5 je uveden příklad použití žebrové klenbové konstrukce pro zastřešení školní budovy. Klenba ponechává vnitřní prostor volný pro využití podkroví. Žebra jsou po obvodě podepřena na ocelové pozednici, která je

novému prstenci. Ocelový lucernový prstenec umožňuje, kromě připojení žebel, také uložení konstrukce lucernové nástavby. Tuhost kopule proti rotaci kolem svislé osy byla zabezpečena ocelovými příhradovými ztužidly připojenými k lepeným obloukům. Pomocí táhel z kruhové oceli bylo umožněno také urovnání žebel do předpokládané polohy při montáži. Žebra jsou podepřena na betonovém věnci prostřednictvím ocelových ložisek čepovým spojem.

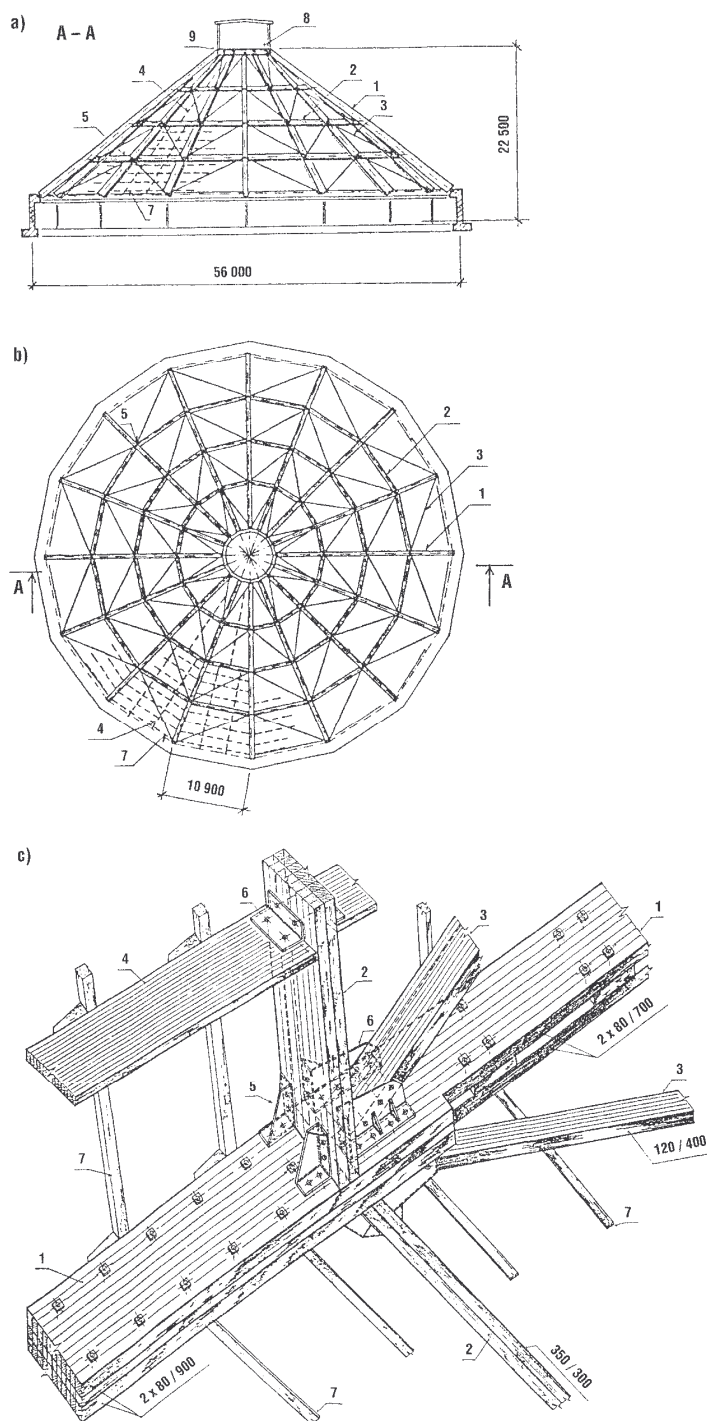


Obr. 3.7 – Hlavní konstrukční detaily žebrové kopule planetária v Brně: připojení lepených obloukových žebel k lucernovému prstenci a k patkám pomocí čepových spojů

Pro výpočet uvedených soustav je třeba vytvořit odpovídající prostorové modely. Návrh optimálního počtu žebel je u konstrukcí tohoto typu významný s ohledem na potřebné dimenze nosných prvků a vzhledem k finančním nákladům na výrobu a montáž. Při volbě menšího počtu žebel se nepříznivě projeví velká osová vzdálenost žebel na dimenzích nosných prvků střešního pláště. Návrhem většího počtu žebel se sice dosáhne zmenšení průřezu žebel a nosných prvků střešního pláště, ale narůstá počet přípojů a mohou nastat obtíže při montáži žebel do lucernového prstence. Obecně je pro návrh žebel rozhodující namáhání tlakovou osovou silou a ohybem. Štíhlost obloukových žebel je u kopulovitých konstrukcí poměrně vysoká, zpravidla je $\lambda_y \geq 145$, takže vliv tlakové osové síly na zvýšení deformací a namáhání prutů přenášejících současně účinek ohybu je podstatný. Stabilita žebel pro vybočení z roviny (klopení) je zabezpečena prostřednictvím střešního pláště a výztužných prvků.

Hlavní konstrukční detaily, které lze aplikovat i při navrhování kopulí větších rozpětí jsou patrné z Obr. 3.7. Lepená oblouková žebra jsou do patních ložisek i k lucernovému prstenci připojena čepovým spojem. Toto řešení odpovídá předpokladu kloubového přípoje a osvědčilo se i z montážních důvodů.

Příklad žebrové kopule většího rozpětí s příslušnými detaily byl uveden také na Obr. 2.10.



Obr. 3.8 – Příklad žebrové kuželové kopule pro skladování sypkých materiálů:

a-příčný řez, b-půdorys, c-charakteristický styčník:

1-radiální lepená žebra, 2-obvodové pruty, 3-diagonální pruty, 4-krokve, 5-prostorové styčníky, 6-ocelové styčnickové prvky, 7-vaznice, 8-náсыпка, 9-ocelový lucernový prstenec

Dřevěné **žebrové kopule kuželového tvaru** jsou vhodné pro zastřešení skladových objektů pro sypké materiály. Příklad kopule tohoto typu je na Obr. 3.8. Základní soustava je tvořena tuhými přímými radiálními žebry lepeného lamelového průřezu, obvodovými a diagonálními pruty a je doplněna o mezi-lehlé krokve a vaznice, které umožňují připojení střešního pláště. Připoje prutů ve styčnicích jsou řešeny pomocí ocelových svařovaných prvků a šroubových spojů.

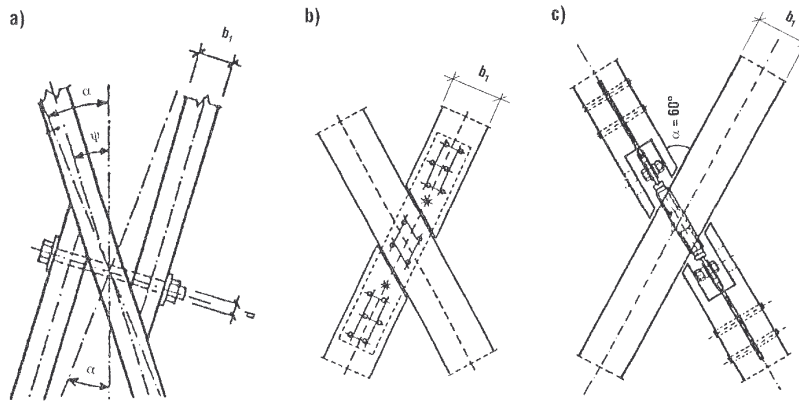
3.3 Dřevěné lamelové kopule a klenby

Mezi efektivní systémy v oboru kovových a dřevěných konstrukcí patří lamelové kopule a klenby, které mohou být použity pro zastřešení pravouhlých, nepravidelných, kruhových i mnohoúhelníkových půdorysů. Nosná konstrukce lamelových klenb a kopulí je konstruována z opakujících se dílců-lamel, spojovaných v místech styčniců. Pro velká rozpětí se používají lamely značné únosnosti vyrobené jako obloukové plnostěnné nebo příhradové dílce.

Lamelové klenby se zpravidla navrhují jako válcové nosné plochy, které jsou podepřeny v patních přímkách a na čelních zakřivených okrajích (na obloukových vaznicích nebo čelních stěnách), případně jako kopulovitě útvary vytvořené průnikem válcových ploch uspořádaných nad mnohoúhelníkovým půdorysem.

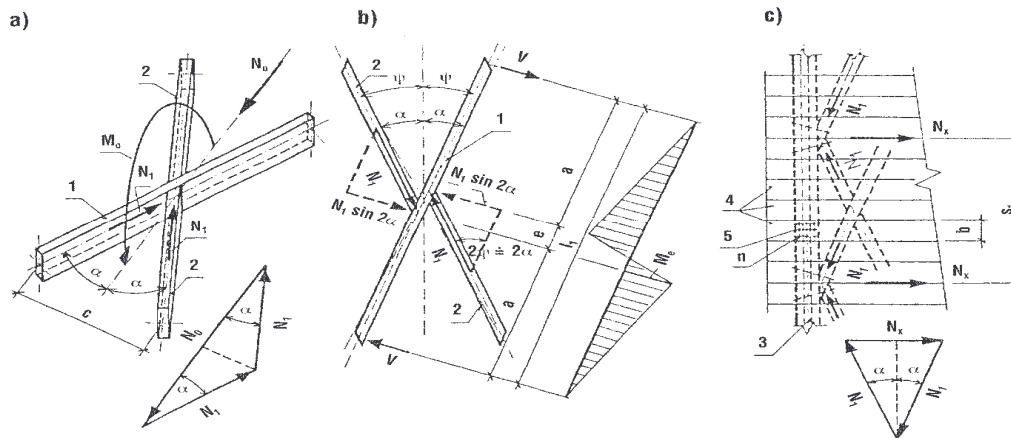
Při návrhu klenby se nejprve určí geometrické parametry konstrukce, tj. rozpětí, délka, vzepětí, uspořádání lamelové sítě a základní rozměry lamel. Průřez válcové klenby může být ve tvaru plynule zakřiveného oblouku nebo také ve tvaru oblouku lomeného ve vrcholu. Vzepětí plynulé obloukové klenby nemá být menší než $1/7$ rozpětí a výška průřezu klenby ne menší než $1/80$ rozpětí klenby. Lomená klenba má mít vzepětí alespoň $1/3$ rozpětí, přitom vzepětí polovice lomeného oblouku nad jeho tětivou má být nejméně $1/15$ délky tětivy. Řídící křivka válcové plochy je obvykle kružnice. V pravouhlé síti jsou lamely na sebe kolmé, v kosoúhlé síti svírají úhel přibližně 45° . Vzdálenost sousedních styčniců sítě je zpravidla v rozmezí 0,7 až 1,5 m. Nosná konstrukce klenby je zhotovena z jednotlivých skladebných prvků-lamel, které se vzájemně spojují ve styčnicích soustavy. Lamely se vyrábějí z desek a fošen o tloušťce nejméně 25 mm. Poměr tloušťky a výšky průřezu lamely je přibližně $1/5$, poměr výšky a délky lamely asi $1/10$. Při šířkách deskového řeziva do 320 mm je možné navrhovat lamelové klenby do rozpětí přibližně 25 m. Jedním z limitujících kritérií při návrhu potřebných dimenzí lamel je požadavek na dostatečnou tuhost lamelového oblouku. V případě nevyhovující ohybové tuhosti lamel existuje riziko ztráty stability klenby v nejvíce namáhaných zónách. Pro klenby větších rozpětí je třeba použít lamely lepeného průřezu nebo lamely příhradové. Vzhledem ke skladebnosti lamelové soustavy není problémem kombinovat lamely různé tloušťky, výšky a typu průřezu při zachování geometrického tvaru vnějšího povrchu konstrukce. Lamelové klenby je také možné vyztužovat lepenými nebo příhradovými obloukovými žebry a zvyšovat tímto způsobem jejich únosnost.

jící i rektifikaci přípojů. Některé speciální typy spojů lamel jsou také patentovány.



Obr. 3.10 – Konstrukční řešení styčníků lamelových kleneb:
a-svorníkový spoj s excentrickým připojením dělených lamel k průběžné lamelle, *b*-spoj s vloženým styčnickovým plechem do výřezu v průběžné lamelle, *c*-speciální spoj s možností rektifikace

Konstrukčně jednoduchým a přitom dostatečně únosným spojem je svorníkové spojení s excentrickým uspořádáním lamel ve styčníku. Z konstrukčních důvodů nelze u tohoto typu spojení připojit konce dělených lamel centricky v teoretickém styčníku jak je znázorněno na Obr. 3.11. Přídavné normálové napětí v průřezu průběžných lamel, vyvolané příčným ohybem lamely vlivem excentrického připojení, však dosahuje přibližně hodnot kolem 1 MPa a není rozhodující pro dimenzování lamel.



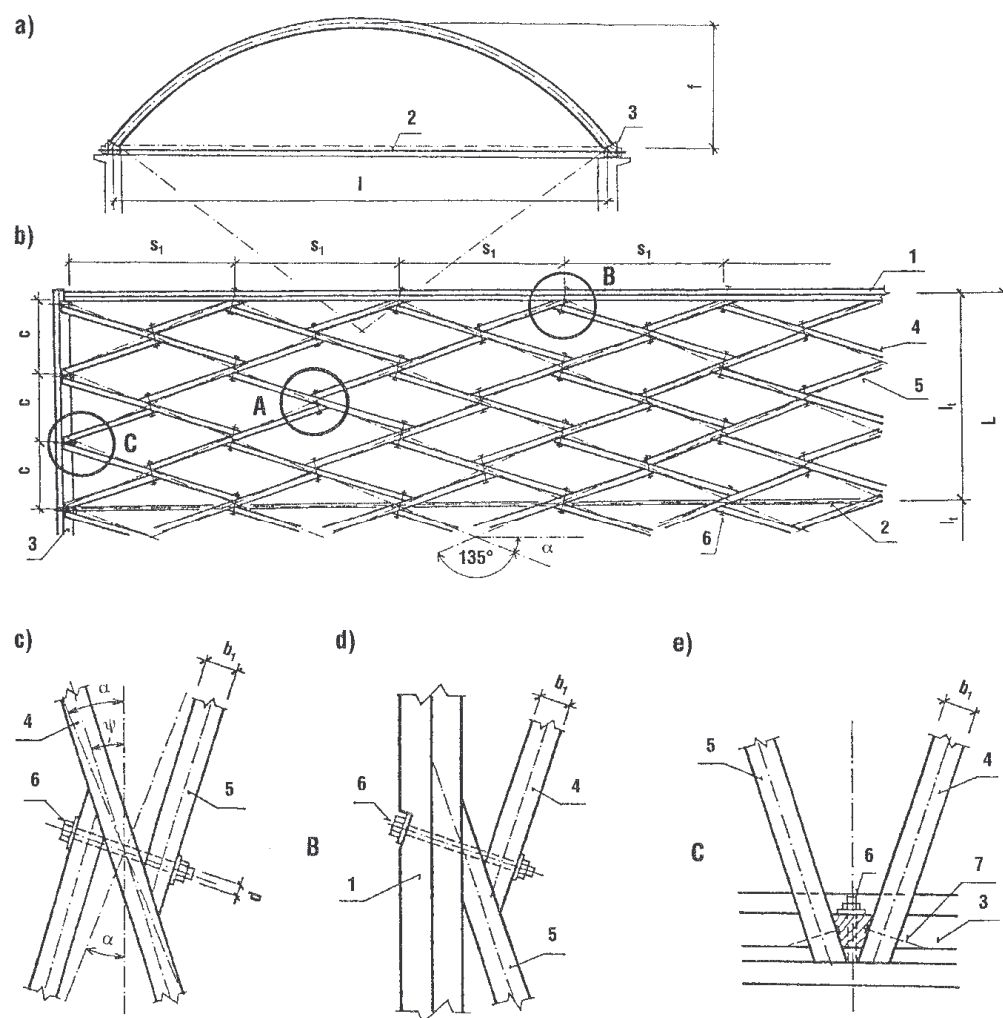
Obr. 3.11 – K řešení lamelových kleneb:
a-normálové síly N_2 působící na koncích spojovaných lamel (síla N_1 působí v průběžné lamelle), *b*-namáhání průběžných lamel příčným ohybem vlivem excentrického připojení dělených lamel, *c*-připojení koncových lamel klenby ke štítovým vazníkům:

1-průběžná lamela, 2-dělené lamely, 3-horní pás štítového vazníku, 4-desky bednění nebo střešní panely, 5-spojení horního pásu čelního vazníku s bedněním:

N_0 , M_0 jsou normálová síla a ohybový moment stanovené na obloukovém pruhu šířky „*c*“

U kleneb s rozpětím do 20 m zpravidla postačují dva svorníky v přípoji umístěné v jedné řadě. Únosnost spoje lze zvýšit vložením zazubených hmoždinek do kontaktní spáry spojovaných lamel. Podélné síly N_x v místech připojení koncových lamel ke štítovým vazníkům je třeba převzít prostřednictvím bednění nebo prvků připojených k několika vnitřním lamelám, protože tuhost čelních podporových konstrukcí je pro přenesení těchto sil zpravidla nedostatečná.

Příklad lamelové klenby Zollingerovy soustavy se svorníkovými spoji je uveden na Obr. 3.12.



Obr. 3.12 – Konstruktivní skladba dřevěné válcové lamelové klenby se svorníkovými spoji:

a-příčný řez, b-půdorys, c-detail typického spojení lamel, d-připojení lamel k čelnímu vazníku nebo oblouku, e-patní styčník:

1-čelní vazník, 2-táhla pro přenos vodorovných složek reakcí klenby, 3-patní nosník, 4-průběžné lamely, 5-dělené lamely, 6-spojovací svorníky, 7-montážní hřebíky nebo vruty

Lamelové klenby patří mezi prostorové prutové soustavy. Při přesnějším teoretickém řešení s použitím odpovídajícího programového softwaru jsou výpočtové modely uvažovány jako prostorové prutové soustavy. Zkušenosti z působení řady realizovaných klenbových konstrukcí potvrzují, že je možné při výpočtu považovat lamelovou klenbu za kontinuální plnou klenbu. Výsledky jsou pro předběžný, respektive i praktický návrh postačující a dobře poslouží také při kontrole výsledků získaných řešeními přesnějších výpočtových modelů. Přibližné metody spočívají v tom, že se vnitřní síly určují na uvolněném obloukovém pruhu, jehož šířka se rovná vzdálenosti sousedních styčnic soustavy. Podle konstrukčního provedení podpor a detailu spojení lamel ve vrcholu se uvolněný pruh řeší pro dané zatížení jako dvojklobový nebo trojklobový oblouk podle obvyklých metod stavební mechaniky. Situace je znázorněna na Obr. 3.11. Vnitřní síly v průřezech uvolněného oblouku, tj. ohybový moment M_0 , normálovou sílu N_0 a příčnou sílu V_0 , je třeba určit pro rozhodující kombinaci návrhových hodnot zatížení, jež na klenbu působí. Pro výpočet je podstatné, a to i v případě přesnějšiho postupu, zda se na přenosu ohybového momentu M_0 podílí jenom jedna lamela (v daném místě průběžná) anebo lamely obě (pak ovšem musí detail spojení lamel ve styčnicu tomuto předpokladu odpovídat, tj. musí být zabezpečeno ohybově tuhé spojení lamel). Na velikost ohybového momentu má vliv prostorové působení klenby jako celku. Klenba je zpravidla podepřena na zakřivených okrajích čelními oblouky, vazníky nebo stěnami, které jsou podstatně tužší než volná klenba. Lze uvažovat, že tuhá čelní podpora klenby přenesou část zatížení a hodnotu ohybového momentu M_0 je možné redukovat součinitelem κ . Pro redukci momentu je rozhodující vzdálenost čelních podpor klenby, vyjádřená poměrem L/s , kde L je vzdálenost mezi čelními podporami (vazníky) a s je délka oblouku klenby. Pro poměr $L/s < 1$ je redukční součinitel přibližně $\kappa = 2,0$, pro poměr $L/s > 2,5$ je $\kappa = 1,0$ (vzdálenost čelních podpor je velká, takže účinnost podepření klenby na čelních podporách je zanedbatelná). Za předpokladu, že na přenosu ohybového momentu M_0 se podílí jenom jedna lamela, jejíž osa svírá s rovinou působení ohybového momentu úhel α , připadá na tuto lamelu ohybový moment

$$M_1 = M_0 / \kappa \cos \alpha .$$

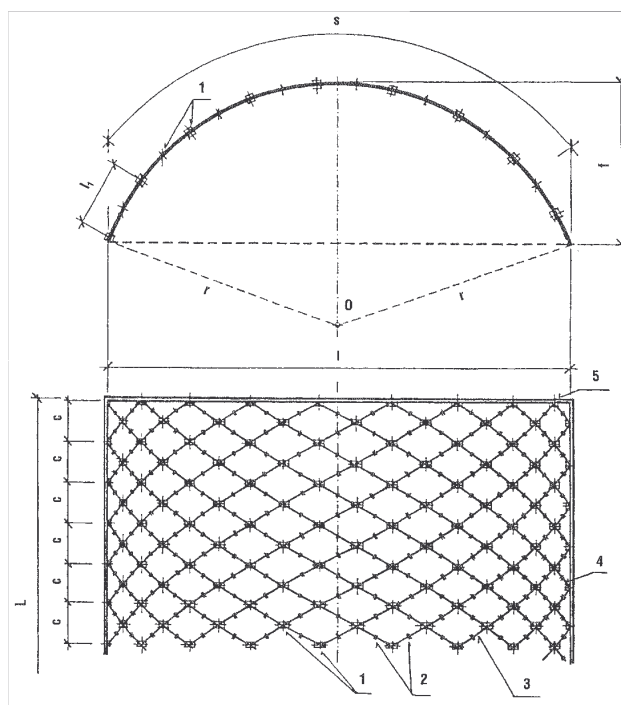
Normálová síla N_0 se součinitelem κ neredukuje, protože podepření klenby na čelních podporách nemá na její velikost podstatný vliv. Normálová síla je přenášena oběma lamelami, takže na jednu lamelu připadá osová síla

$$N_1 = N_0 / 2 \cos \alpha .$$

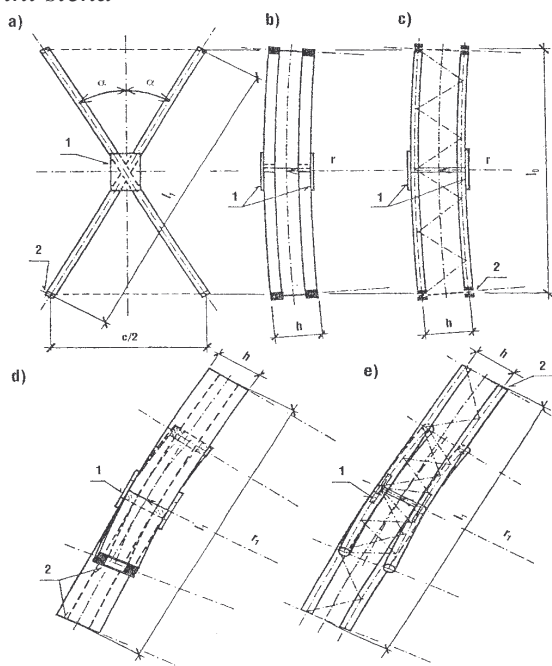
Působení a značení vnitřních sil je patrné z Obr. 3.11. Po stanovení vnitřních sil M_1 a N_1 se posoudí únosnost klenbového oblouku na kombinaci vzpěrného tlaku a ohybu ve smyslu norem pro navrhování dřevěných konstrukcí.

Dřevěné lamelové klenby se zpravidla ukládají na patní nosníky (pozednice). Při podepření nosníku (pozednice) souvislou podélnou stěnou je patní nosník namáhán ohybem ve vodorovném směru účinkem vodorovných složek reakcí klenby. Za rozpětí patního nosníku se v tom případě považuje vzdálenost táhel klenby. Při podepření patního nosníku soustavou sloupů je nutno uvažo-

vat jeho namáhání šikmým ohybem, protože k vodorovným složkám reakcí přistupuje ještě účinek svislých složek reakcí.



Obr. 3.13 – Lamelová klenba z lepených skladebných dílců:
1-styčníky, 2-styky skladebných dílců, 3-základní unifikovaný dílec, 4-patní úložný dílec, 5-čelní stěna

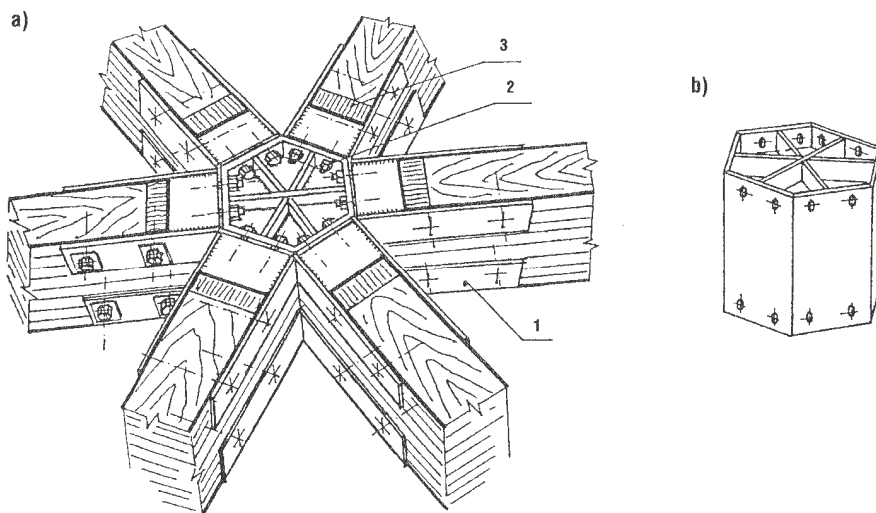


Obr. 3.14 – Konstruktivní řešení skladebných lamelových dílců:
a-dílec sestavený ze čtyř polovičních lamel, b-plnostěnné lamely jako nosníky lepeného uzavřeného průřezu se stěnami z materiálů na bázi dřeva nebo lepené lamelové nosníky obdélníkového průřezu, c-příhradové lamely, d-styčník klenby z plnostěnných lamel, e-styčník klenby z příhradových lamel:
1-kovové nebo dřevěné stykovací příložky, 2-místa styků lamelových segmentů

Příklad lamelové klenby z lepených skladebných prvků, v níž jsou pro přenos ohybového momentu obě lamely účinné (systém F. Lederer), je znázorněn na Obr. 3.13, konstrukční řešení unifikovaných dílců plnostěnného a příhradového typu je na Obr. 3.14.

Lamelová struktura může být uplatněna také u **sférických a složených kopulí**, které jsou navrhovány nad kruhovým nebo mnohoúhelníkovým půdorysem. Délkové rozměry lamel na rotačních kopulích jsou však proměnné. Lamely mají jednotnou délku vždy v daném prstencovém pásu, jehož šířka odpovídá délce jedné lamely v síti. Výhodnější jsou proto složené kopule, jejichž plocha je sestavena z válcových ploch stejného poloměru křivosti, které se protínají na elipticky zakřivených hranách. Lamely jsou v těchto konstrukcích jednotné a provádějí se stejným způsobem jako u válcových lamelových kleneb.

Na Obr. 3.15 je znázorněn příklad silně namáhaného styčníku lamelové soustavy velkého rozpětí. Pro zabezpečení účinného přenosu sil ve styčníku je nutné navrhovat ocelové elementy, do nichž se připojují dřevěné lamely, opatřené odpovídajícími koncovkami. Lamelové dílce z lepeného dřeva jsou přímé anebo mohou být zakřivené (obloukové). Z hlediska jednoduchého připojování lamelových dílců do ocelových styčníkových elementů šroubovými spoji může být výhodné ukončení lamel ocelovými závitovými tyčemi, vlepenými do koncových částí lamel.



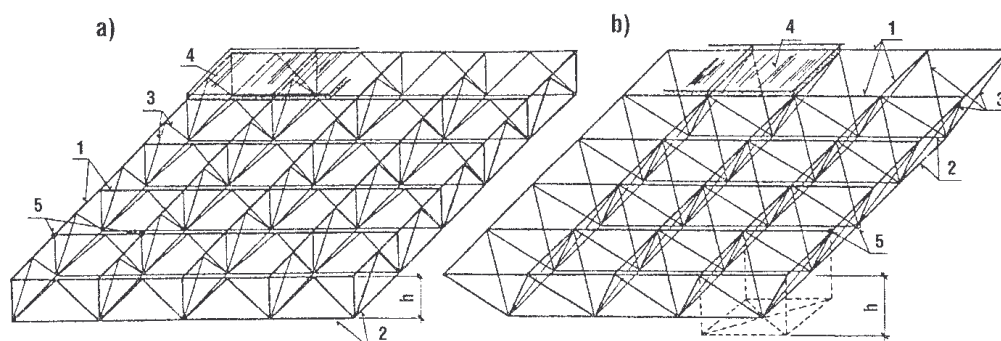
Obr. 3.15 – Příklad prostorového styčníku lamelové klenby velkého rozpětí:
a-konstrukční řešení styčníku, *b*-svařovaný ocelový styčníkový element:
 1-ocelové koncovky dřevěných lamel lepeného průřezu, 2-šroubové přípoje, 3-kontaktní vložky

3.4 Dřevěné strukturální konstrukce

Strukturální konstrukce náleží z hlediska konstrukční skladby a způsobu přenosu účinků zatížení mezi typické prostorové prutové systémy. Nosné konstrukce těchto systémů mohou být vytvořeny s použitím dřeva a materiálů na

bázi dřeva a oceli. Velmi efektivní jsou ovšem konstrukce vyrobené z lehkých kovových slitin, kompozitních materiálů a materiálů na bázi plastů a zejména konstrukce vyrobené kombinací různých materiálů. Nosná vrstva střešního pláště může být uložena na primární prutovou konstrukci anebo může být přímo součástí celkového nosného systému.

Strukturální konstrukce se vyznačují pravidelným a opakujícím se uspořádáním nosných prvků vytvářejících celkový konstrukční systém. Z toho důvodu jsou výhodné pro hromadnou výrobu a také z hlediska dopravy a montáže. Jako střešní konstrukce jsou obvykle provedeny nad obdélníkovým půdorysem, případně i mnohoúhelníkovým půdorysem. Strukturální konstrukce jsou konstruovány z prutových prvků jako příhradové desky nebo rošty, jak je znázorněno na Obr. 3.16 a patří mezi prostorové prutové soustavy.



Obr. 3.16 – Základní typy strukturálních konstrukcí:

*a-rošťová deska s pravidelnou sítí, b-příhradová deska s pravidelnou sítí:
1-horní pásové pruty, 2-dolní pásové pruty, 3-diagonální pruty, 4-střešní panely, 5-prostorové styčníky*

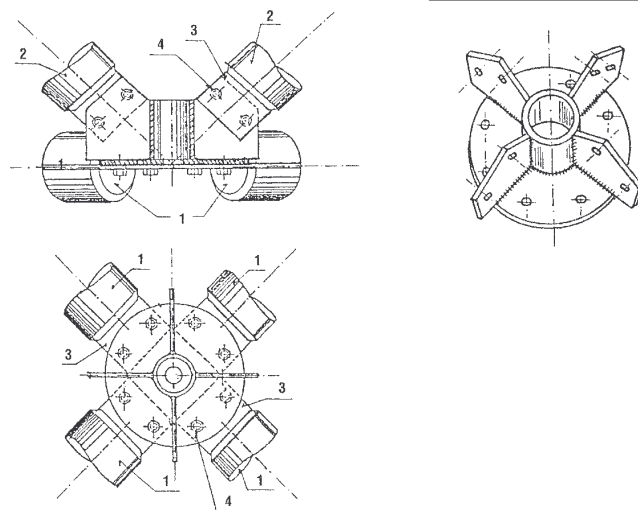
Pro střešní konstrukce se používají struktury, které se při přenosu účinků zatížení chovají jako deskové útvary (příhradové desky). Zatížení roznášejí ve všech směrech, rozdělení reakcí na podpory je obdobné jako u plnostěnných desek, posunutím styčnic kolmo na rovinu útvaru se vytváří průhybová plocha obdobně jako u desek. Struktury jsou omezeny dvěma plochami zpravidla rovnoběžnými s určující střední plochou. Výška desky nebo roštu je podstatně menší než půdorysné rozměry a je zpravidla konstantní, ale jedna nebo také obě pásové plochy mohou být též zakřivené nebo zalomené s proměnnou výškou konstrukce. Styčníky pak leží na ploše válcové, kulové nebo i jiné. Pokud je poloměr křivosti určující plochy velký a podepření útvaru prosté, lze tyto útvary řešit jako desky. Mají-li takové strukturální konstrukce větší křivost a příslušné podepření, působí jako dvojvrstvé klenby, které i při malé hmotnosti jsou dostatečně únosné i na velká rozpětí. Struktury jsou tvořeny horními pásy, dolními pásy a mezipásovými pruty (diagonálami, případně i vertikálami). Jsou-li mezipásové pruty uspořádány v rovinách kolmých ke střední ploše, jde o útvar rošťový a tento typ struktur je nazýván rošťovými deskami. Útvary s diagonálami šikmými v prostoru a tedy se styčníky v horní a dolní ploše vzájemně posunutými řadíme mezi příhradové desky.

Horní pás struktur může být vytvořen rovněž z panelů různých typů, zpravidla trojvrstvých s žebrovou střední vrstvou nebo s kontinuální sendvičovou vrstvou. Strukturální konstrukce se řeší metodami stavební mechaniky jako prostorové prutové soustavy s využitím programů pro výpočet vnitřních sil v pru-

tech a přetvoření soustavy. Většina běžně používaných programů obsahuje i moduly pro dimenzování prutů ve smyslu našich i zahraničních norem pro navrhování konstrukcí, případně též pro optimalizaci návrhu. Metoda řešení příhradových desek a roštů založená na ekvivalentní náhradě prutového systému kontinuální deskou se v současné době již prakticky nepoužívá. Je však třeba připomenout, že první originální a průkopnické konstrukce ocelových příhradových desek postavené u nás podle návrhu Prof. F. Lederera byly teoreticky vyšetřovány na základě metody analogie deskového kontinua.

Strukturální konstrukce typu příhradových desek a roštů zaznamenaly největší rozvoj v oboru kovových konstrukcí, kde jsou v různých konstrukčních modifikacích používány již řadu let. V oboru dřevěných konstrukcí začaly být tyto soustavy ve větší míře navrhovány až v souvislosti s vyvinutím prostorových styčniců, které umožňovaly variabilní připojení dřevěných prutů a vykazovaly i potřebnou únosnost.

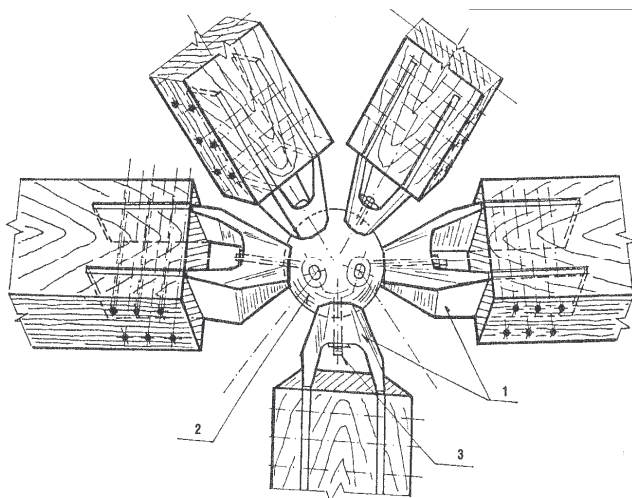
V oboru dřevěných konstrukcí mohou být pruty horních pásů navrženy z rostlého dřeva celistvého průřezu (hranolů nebo i kulatiny) nebo z lepeného dřeva, případně může být horní pás vytvořen jako souvislá plocha z různých druhů panelů. Dolní, zpravidla tažené pásy deskových struktur, lze navrhovat také z kovových profilů. Diagonální pruty jsou namáhány na tah, na vzpěrný tlak nebo obojím způsobem. Podle způsobu namáhání je nutné navrhovat příslušné připojení prutů ve styčnicu. Styčnicové elementy mohou být vyrobeny jako svařované a odlévané kovové prvky nebo jako speciální uzlové prvky vhodné pro připojování dřevěných prutů. Na Obr. 3.17 je uveden jednoduchý ocelový prvek vhodný pro připojování pásových a diagonálních prutů příhradových desek.



Obr. 3.17 – Styčnicový element pro struktury typu příhradových desek: 1-pásové pruty, 2-diagonální pruty z kulatiny nebo hraněných průřezů, 3-koncové plechy vložené do výřezů ve dřevě a připojené kolíkovými spoji, 4-šroubové spoje

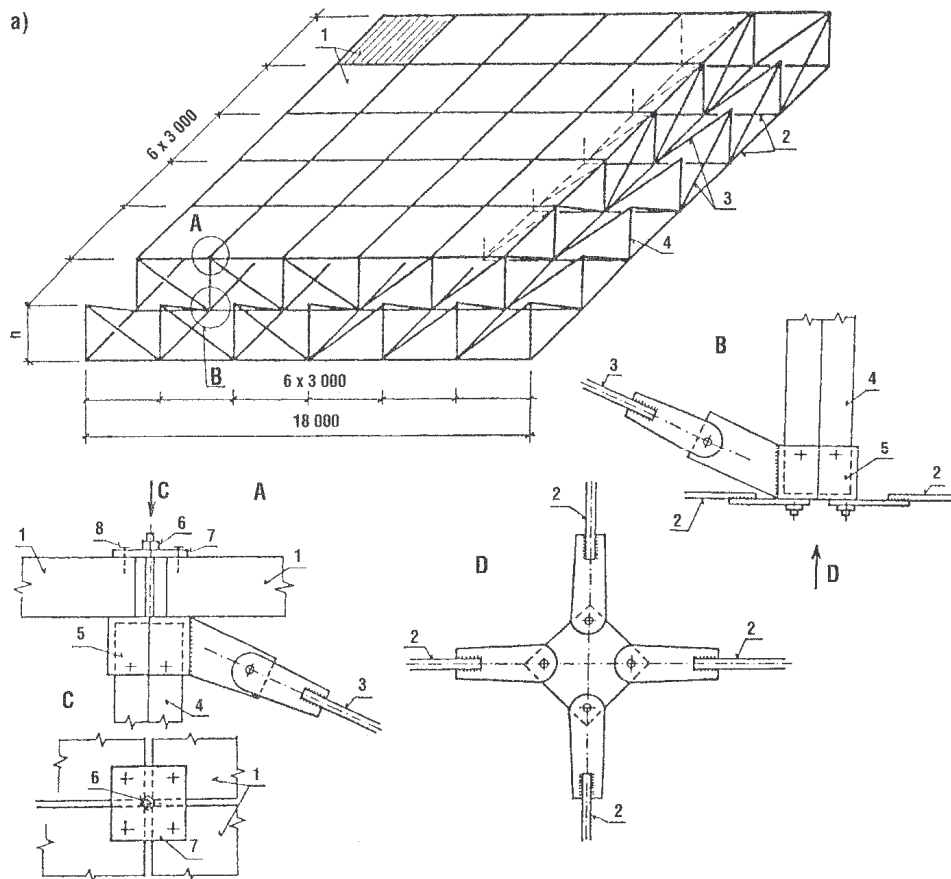
Pruty soustavy mohou být z kulatiny nebo z hraněného řeziva. Pro spojování prutů dřevěných konstrukcí se v současné době používají prvky vyráběné

specializovanými firmami. Existuje již poměrně velký sortiment spojovacích systémů a prvků umožňujících řešit přípoje rovinných i prostorových konstrukcí. Pro dřevěné strukturální konstrukce byl například z poměrně známého styčníku typu MERO, používaného v kovových konstrukcích, vyvinut styčník typu BAM (BSB Blumer-Amann-Mero), který je znázorněn na Obr. 3.18. Dřevěné pruty jsou zakončeny kovovými koncovkami, které jsou do uzlového kulovitého prvku připojeny šroubem. Připojení koncovek ve výřezích dřevěných prutů se provádí ocelovými kolíky. Ve styčníku se přenášejí tlakové síly kontaktem mezi čelní plochou koncovky a upravenou plochou styčníkové koule a tahové síly šroubem. Připojení prutů strukturálních soustav je také možné řešit pomocí závitových ocelových tyčí vlepených do koncových částí dřevěných prutů. Tento typ spojů je již v praxi používán a příslušná ustanovení pro navrhování spojů s vlepanými závitovými tyčemi jsou také obsažena v normách pro navrhování dřevěných konstrukcí.



Obr. 3.18 – Prostorový styčník typu BAM pro dřevěné strukturální konstrukce: 1-speciální kovové koncovky připojené do výřezů dřevěných prutů kolíkovými spoji, 2-styčníkový element, 3-šroubový spoj

Příklad skladby strukturální roštové soustavy podepřené v rohových uzlech je uveden na Obr. 3.19. Dolní pásy jsou navrženy z ocelových profilů, horní pásy tvoří obvodová žebra střešních panelů, svislice jsou ze dřevěných průřezů a diagonály z ocelové kulatiny nebo úhelníků. Soustava s dolními pásy z kruhové oceli je funkční pouze v případě, že v těchto pásích nevznikají tlakové síly. Při působení tlakových sil v dolních pásích a také v diagonálách je nutné navrhnout odpovídající profily dostatečně únosné na vzpěr. Taková situace může nastat při kombinaci zatížení stálého s účinky sání od větru nebo při jiném způsobu podepření útvaru než v rozích sekce.

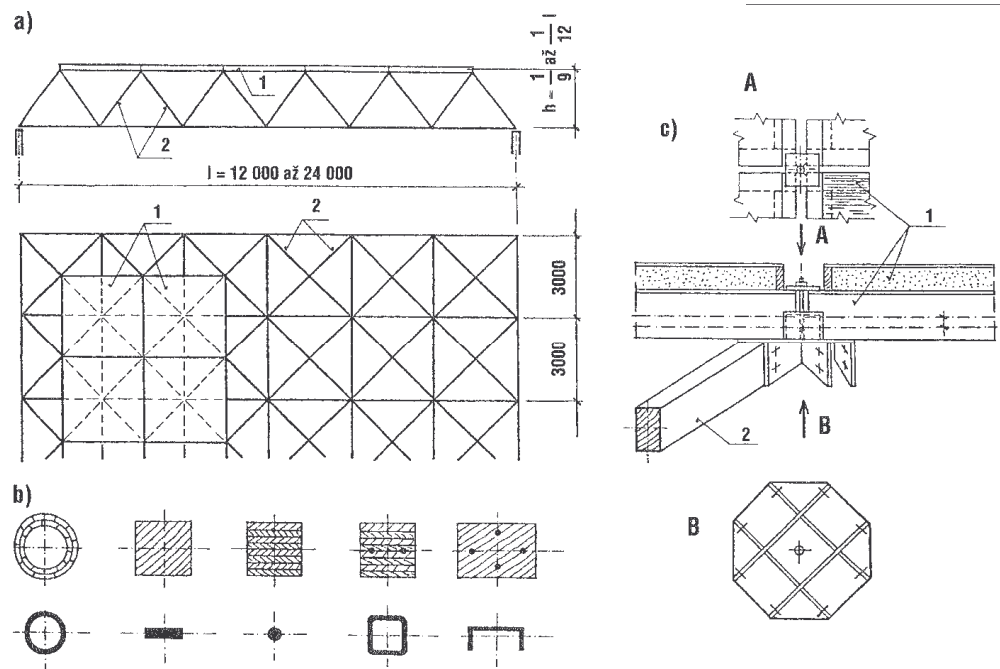


Obr. 3.19 – Příklad skladby sekce strukturální roštové konstrukce ze dřevěných a ocelových prutů:

a-skladba roštové konstrukce, b-detail připojení diagonál k dolním pásům, c-charakteristický styčník horního pásu, d-styčník dolního pásu:

1-střešní panely s obvodovými žebry, 2-ocelové pruty dolních pásů, 3-ocelové diagonály, 4-dřevěné svislíce, 5-ocelové styčníky, 6-styčníkový šroub, 7-příložky, 8-vruty

Příhradová deska může být konstruována také tak, že funkci pásových prutů plní obvodová žebra trojvrstvých sendvičových panelů (Obr. 3.20). Žebra jsou namáhána osovými silami plynoucími z působení žebér jako pásových prutů soustavy a ohybem od mimostyčníkového zatížení. Diagonály mohou být provedeny z různých typů průřezů, například z hraněného řeziva, lepeného dřeva, armovaných průřezů, překližkových tvarových průřezů. V diagonálách působí osově síly tahové i tlakové. K přenesení tlakových sil do styčníku soustavy může být využito kontaktního opření konců prutů do kovové hlavice styčníku, přenesení tahových sil je zabezpečeno hřebíkovými, vrutovými nebo svorníkovými spoji. Dolní vrstva panelů je provedena s přesahem a ve styčnících je připojena pomocí příložky a styčníkového šroubu. Přesahu dolní vrstvy po obvodu panelu se využívá také k uložení tepelné izolace a utěsnění spár mezi panely. Sřešní panely je možné k horním pásovým prutům připojovat i jiným způsobem, například vruty spojujícími obvodová žebra panelů s dřevěnými profily pásů. Namísto panelů může být nosná vrstva sřešního pláště vytvořena také bedněním nebo i jiným způsobem. Použitím hotových sřešních panelů se ovšem zvyšuje skladbnost strukturální konstrukce.



Obr. 3.20 – Příklad skladby strukturální konstrukce typu příhradové desky se souvislou horní vrstvou vytvořenou ze sendvičových panelů:
a-schéma desky, b- varianty průřezů prutů, c-konstrukční řešení styčnicku:
1-horní pásová plocha ze sendvičových panelů, 2-diagonály

4 Kontrolní otázky

- 1 Uveďte základní typy dřevěných prostorových konstrukcí a jejich charakteristiku.
- 2 Jakým způsobem lze konstrukčně vytvořit nosný skořepinový nebo lomenicový plášť ?
- 3 Vysvětlete rozdíl mezi působením dlouhé a krátké válcové skořepiny.
- 4 Uveďte základní nosné prvky rotačních skořepin.
- 5 Jaké vnitřní síly působí v oblasti podepření skořepin?
- 6 Vysvětlete skladbu a působení hyperbolicko-parabolických skořepin.
- 7 Uveďte základní typy prostorových prutových kopulí.
- 8 Nakreslete skladbu žebrové kopule a detail připojení žebra k patnímu, respektive lucernovému prstenci.
- 9 Způsob namáhání žeber a jejich posuzování.
- 10 Zásady navrhování a posuzování lamelových kleneb.
- 11 Typy dřevěných strukturních konstrukcí.
- 12 Jaké konstrukční možnosti jsou k dispozici při navrhování příhradových desek a roštů?



5 Studijní prameny

5.1 Použitá literatura



- [1] Dutko, P., Lederer, F. a kol. *Drevené konštrukcie*. ALFA, Bratislava, 1976.
- [2] Lederer, F. *Priestorové ocelové konštrukcie*. ALFA, Bratislava, 1981.
- [3] Koželouh, B. *Dřevěné konstrukce, STEP 2, Návrh-Detaily a konstrukční systémy*. KODR, Louky, 2004.
- [4] Straka, B., Pechalová, J. *Dřevěné konstrukce*. CERM Brno, 1996.
- [5] Straka, B. *Navrhování dřevěných konstrukcí*. CERM, Brno, 1996.
- [6] Russ, R., Straka, B. *Konstrukce ze dřeva a plastů – Konstrukce z plastických hmot*. SNTL Praha, 1977.

5.2 Doplnková studijní literatura

- [7] Blass, H. J. *Timber Engineering, STEP 2, Design-Details and structural systems*. Centrum Hout, The Netherlands, 1995.

5.3 Odkazy na další studijní zdroje a prameny

- [8] Rühle, H. *Priestorové strešné konštrukcie, 1. a 2. Diel*. ALFA, Bratislava, 1978.
- [9] Karlsen, G.,G. *Konstrukci iz dereva i plastmass*. Moskva, 1986.
- [10] Straka, B. *K vývoji dřevěných konstrukčních soustav*. Intranet Fakulty stavební VUT v Brně.