Sluchová soustava

Vedle zraku patří sluch k nejdůležitějším smyslům člověka. Sluch člověka dokáže vnímat zvuk v rozsahu frekvencí 16 – 20 000 hertzů. Nejcitlivější je v oblasti 1000 – 3000 Hz, což je oblast frekvence lidského hlasu. Orgánem sluchové soustavy je ucho.

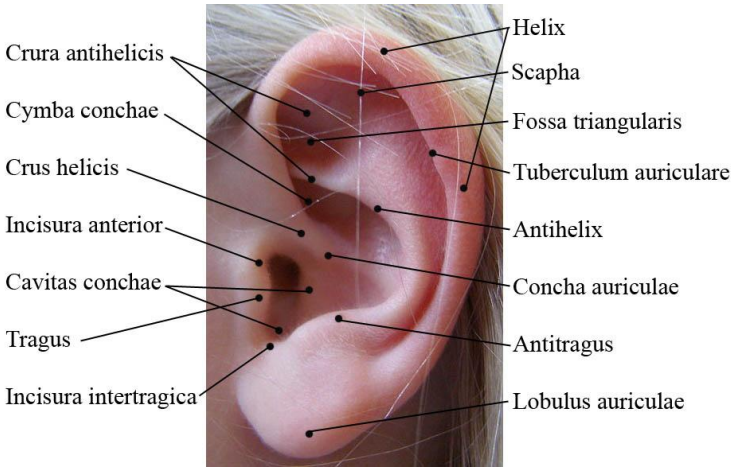
Anatomie ucha

Ucho se dělí podle základního rozdělení na *vnější ucho, střední ucho* a *vnitřní ucho.*

Vnější ucho

Vnější ucho *(auris externa)* se skládá z *boltce* a *vnějšího zvukovodu.*

Ušní boltec



Obr. 1 Ušní boltec

Boltec ušní *(auricula)* je lidmi často nazýván také jako ucho. Jedná se o výběžek skořápkovitého tvaru, který obklopuje vývod zevního zvukovodu. Velká část boltce ušního je tvořena z elastické chrupavky pokryté kůží. Jeho silnější volně visící ušní lalůček však podpůrnou chrupavku neobsahuje. Boltec má význam pro směrový efekt sluchového orgánu.

Vnější zvukovod

Vnější zvukovod *(meatus acusticus externus)* je krátký kanálek (dlouhý přibližně 2,5 cm, šířka 7 až 8 mm, průřez je oválný), který probíhá směrem dovnitř od boltce k ušnímu bubínku. Je mírně nerovný, ale nerovnost se dá tahem za boltec vyrovnat, takže při vhodném osvětlení můžeme vidět na bubínek. Ve vnější části poblíž boltce je jeho stěna tvořena chrupavkou. Zhruba vnitřní dvě třetiny délky vnějšího zvukovodu prochází tunelem ve spánkové kosti. Celý kanál zvukovodu je vystlán kůží, která obsahuje chlupy, mazové žlázky a modifikované apokrinní potní žlázky *(glandullae ceruminosae).* Tyto žlázy vylučují žlutohnědý ušní maz (ce*rumen).* Ušní maz zachycuje prach a odpuzuje hmyz, čímž zabraňuje jejich vstupu do sluchové trubice. Zvukovod je u dospělého člověka dlouhý dva a půl až tři centimetry a od středouší je oddělen bubínkem.

Obr. 2 Vnější zvukovod [4]

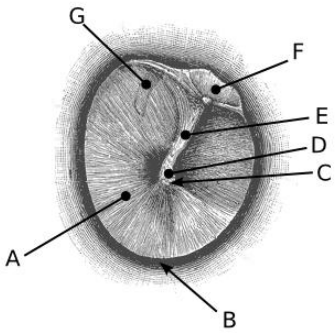
Boltec se zvukovodem mají sluchovou a zároveň ochrannou funkci. Zachycují zvukové vlny ze svého okolí a vedou je dále k bubínku. Nerovnosti boltce a pružnost chrupavky fungují jako rezonátory. Ovšem i zvukovod může mít rezonanční význam, zejména při vyšších tónech. Zvukovod má ochranou funkci pro části ucha ležící hlouběji, ale také před následky náhlých změn v okolí.

Střední ucho

Střední ucho je tvořeno *dutinou bubínkovou* s *bubínkem*, *sluchovými kůstkami*, *Eustachovou trubicí* a dutinami v kosti spánkové. Je vystláno tenkou sliznicí, která pokrývá i tři kůstky.

Bubínek

Bubínek *(membrana tympani)* je pružný vazivový útvar. Membrána bubínku je zešikma k podélné ose zvukovodu a je zasazena do kostěného žlábku. Dolní tlustší napjatá část bubínku srůstá s rukojetí kladívka, čímž vzniká vtažení bubínku nálevkovitě dovnitř. Bubínek je tvořen třemi vrstvami. Vnější vrstva je tvořena pokožkou ze zvukovodu, střední vrstva z vaziva a vnitřní vrstvu tvoří tenká sliznice, která pokrývá dutinu bubínkovou. V horní části bubínku chybí vrstva vaziva, jedná se o tzv. Šrapnelovu membránu *(pars flaccida)*. Transverzální rozměr je 8 – 9 mm, vertikální 9 – 10 mm. Tloušťka bubínku je přibližně 0,1 mm.



A – pars tensa
B – annulus fibrosa
C – umbo
D – stria mallearis
E – rukojeť kladívka spojená s bubínkem
F – pars flaccida
G – kovadlinka

Obr. 3 Bubínek – schematický obrázek [5]

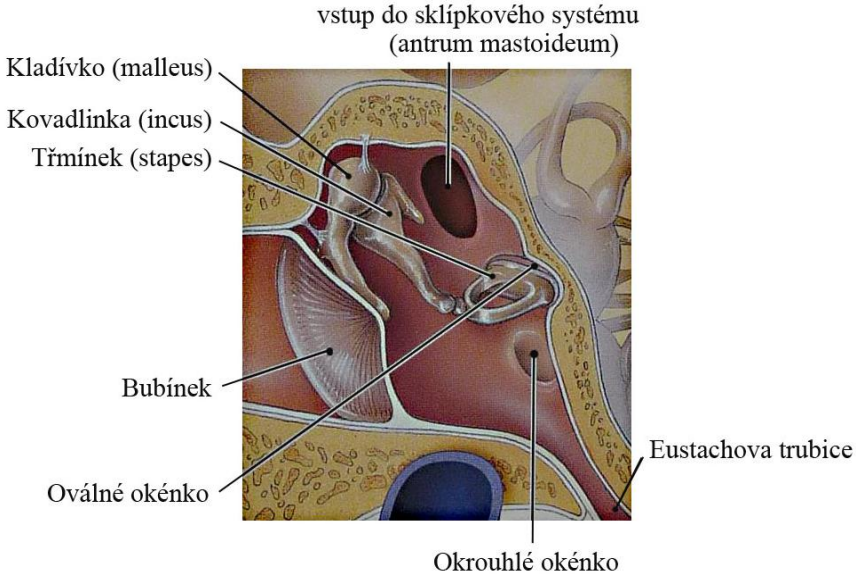
Obr. 4 Fotografie ušního bubínku [13]

Dutina bubínková

Dutina bubínková je prostor nacházející se mediálně za bubínkem. Je uložena ve spánkové kosti a má tvar nepravidelného hranolu (ve frontálním řezu (obr. 5) je patrné zúžení ve střední části, které je způsobeno vtažením bubínku na jedné straně a promontoriem na straně druhé) jehož objem se pohybuje v rozmezí 0,75 – 1 cm^3. Dutina bubínková je vyplněna vzduchem a pokryta tenkou sliznicí.

Rozlišujeme tři části dutiny bubínkové:

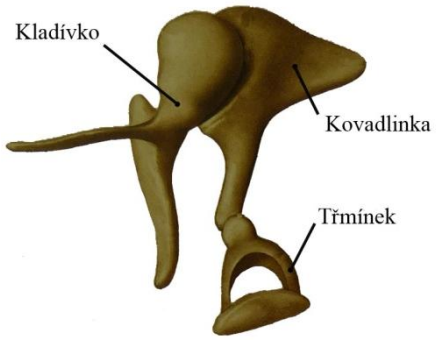
- *Nadbubínková dutina (epitympanum)* – horní část nad bubínkem. Vyskytuje se zde menší část sluchových kůstek. Její zadní stěna se otvírá do sklípkového systému *(antrum mastoideum)*
- *Střední část (mezotympanum)* – obsahuje ostatní části řetězu sluchových kůstek. Je umístěna mezi bubínkem a prominencí prvního závitu hlemýždě *(promontoriem)*, nad nímž je jamka oválného okénka s ploténkou třmínku, dole se nachází okénko okrouhlé, které je ale uzavřené jemnou membránou.
- *Dolní část (hypotympanum)* – prostírá se pod úrovní dolního okraje bubínku a ústí v něm Eustachova trubice (obr. 5).



Obr. 5 Detail středního ucha [3]

Sluchové kůstky

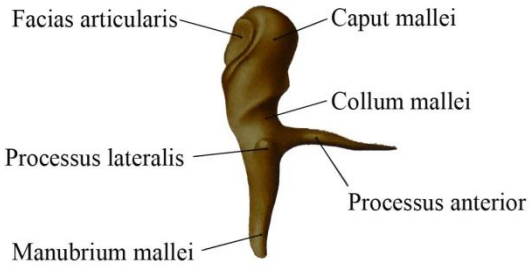
Jedná se o nejmenší kosti v lidském těle o velikosti pouhých několika milimetrů. Sluchové kůstky *(ossicula auditus)* vytvářejí pomocí kloubů pohyblivě spojený řetězec mezi bubínkem oválným okénkem (obr. 5 a 6). Jeho hlavním úkolem je přenos chvění bubínku, způsobeného zvukovými vlnami do nitroušního labyrintu vyplněného perilymfou pomocí pákového systému.



Obr.6 Sluchové kůstky (ossicula auditus), pohled zevnitř a shora [3]

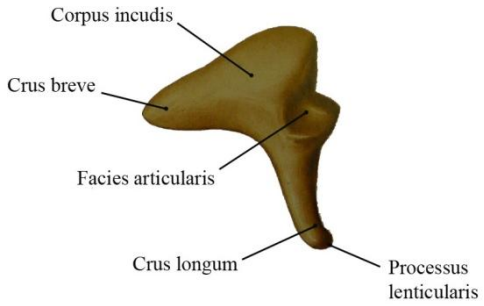
- ***Kladívko*** *(malleus)* je kůstka kyjovitého tvaru. Hlavice kladívka (*caput mallei)* vyčnívá vysoko nad horní okraj bubínku, na zadní straně má zakřivenou plošku pro skloubení s kovadlinkou. Hlavice kladívka pokračuje jako krček *(collum mallei)*, který kaudálně přechází v rukojeť kladívka

(manubrium mallei), která je srostlá s bubínkem ve stria mallearis. Na kladívku je patrný krátký výběžek uložený zevně *(processus lateralis)* a delší štíhlý výběžek směřující vpřed *(processus anterior)*.



Obr.7 Kladívko (malleus), pohled z laterární strany [3]

- ***Kovadlinka*** *(Incus)* tvoří střední část řetězce sluchových kůstek. Její tělo *(corpus incudis)* vpředu nese sedlovitou kloubní plochu *(facies articularis)* pro skloubení s hlavicí kladívka, dozadu z něj vystupuje krátké raménko *(crus breve)* a mediokaudálně dlouhé raménko *(crus longum)*. Z něho vystupuje chrupavčitý výběžek *(processus lenticularis)*, kterým se kovadlinka připojuje k hlavici třmínku.



Obr. 8 Kovadlinka (incus), pohled z laterární strany [3]

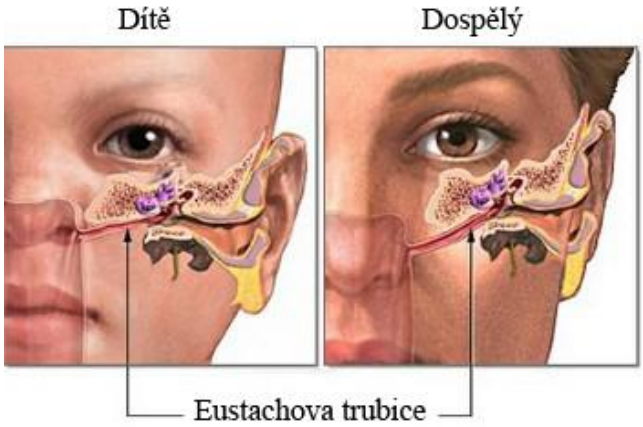
- ***Třmínek*** *(stapes)* představuje poslední část řetězce sluchových kůstek. Hlavice třmínku *(Caput stapedis)* se spojuje s dlouhým raménkem kovadlinky. Svou bazí (*basis stapedis)* zapadá do oválného okénka. Hlavice s bazí je propojena prostřednictvím předního *(Crus anterius)* a zadního raménka *(Crus posterius).*

Obr. 9 Třmínek (stapes), pohled shora [3]

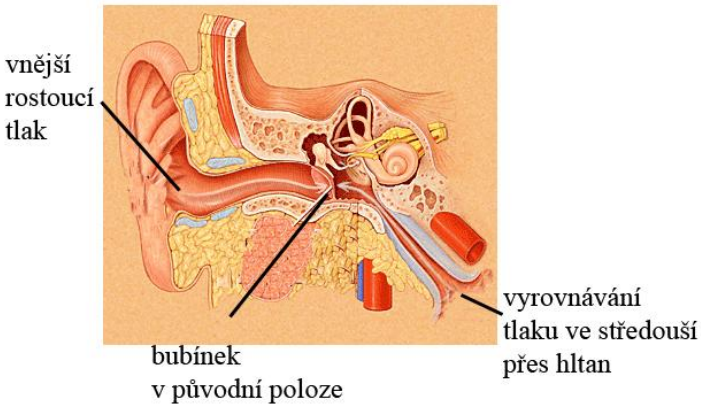
Eustachova trubice

Eustachova trubice (sluchová trubice) je trubice, která spojuje nosohltan se středním uchem. Vychází ze spodní části středouší a pokračuje ventromediálně, přičemž se směrem do nosohltanu kaudálně svažuje. Existuje několik velkých anatomických rozdílů mezi Eustachovou trubicí u malých dětí a Eustachovou trubicí dospělých. U dětí je Eustachova trubice uložena téměř horizontálně nebo s odchylkou do 10°. U dospělých svírá Eustachova trubice průměrně úhel 45° s horizontální rovinou (obr. 9). Délka Eustachovy trubice u dospělých se pohybuje okolo 35mm. Délku Eustachovy trubice

můžeme rozdělit na dvě části. Kostěná část vede přímo od středouší a představuje zhruba jednu třetinu délky trubice. Zbylé dvě třetiny Eustachovy trubice je chrupavčitá část a je tvořena chrupavčitým podkladem. Jejím úkolem je přivádět vzduch do středouší a vyrovnávat případné tlakové rozdíly Při polknutí či zívnutí se otvírá ústí hltanu a dochází k vyrovnání tlaku vzduchu v dutině bubínkové s tlakem vzduchu v zevním prostředí (obr.10). Tento manévr je důležitý, neboť bubínek ušní volně nevibruje, dokud se nevyrovná tlak na obou jeho stranách.



Obr. 9 Porovnání Eustachovy trubice u dítěte a dospělého [14]



Obr. 10 Zobrazení vyrovnání tlaku ve středoušní dutině [8]

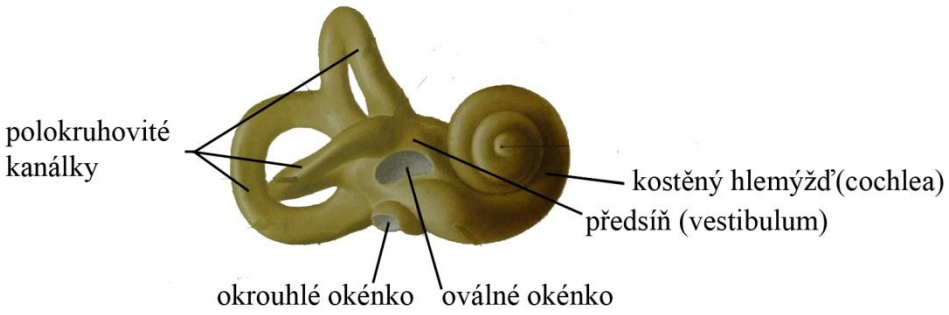
Vnitřní ucho

Vnitřní ucho *(auris interna)*, nazývané též labyrint, neboť zaujímá komplexní tvar podobný bludišti, se nachází mezi tlustými ochrannými stěnami skalní části spánkové kosti. Vnitřní ucho je složeno ze dvou hlavních částí: *kostěného* a *blanitého labyrintu.*

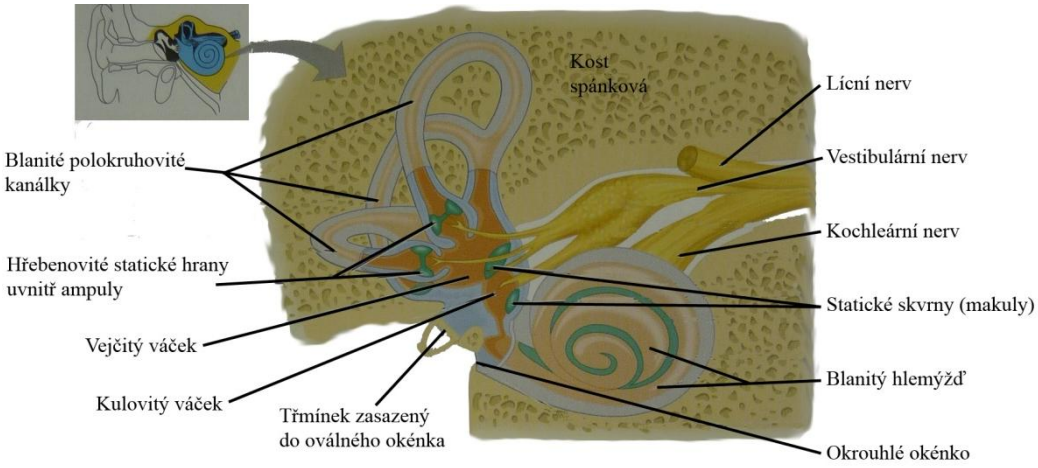
Kostěný labyrint tvoří dutina ve skalní kosti. V kostěném labyrintu je uložen blanitý labyrint a prostor mezi nimi vyplňuje čirá tekutina – zevní míza *(perilymfa).* Kostěný labyrint (obr. 11) se skládá ze systému zakřivených kanálků, které mají tři části – *polokruhovité kanálky, vestibulum* (předsíň) a *hlemýžď* (cochlea). V kostěné stěně je okénko oválné a okrouhlé (jejich blanité výplně oddělují perilymfu od dutiny bubínkové). V předsíni kostěného labyrintu je váček vejčitý (s ním jsou spojeny tři blanité polokruhovité trubičky a váček kulovitý (na něj je připojen blanitý hlemýžď).

Uvnitř *blanitého labyrintu (ductus cochlearis)* je *endolymfa*. Perilymfa a endolymfa mají rozlišnou chemickou stavbu. Endolymfa se složením podobá nitrobuněčné tekutině s vysokým obsahem draslíku a nízkým obsahem sodíku. U perilymfy je tomu naopak. Blanitý labyrint (obr. 12) tvoří propojenou soustavu váčků a kanálků s membranozní stěnou, které jsou volně uloženy v kostěném

labyrintu a téměř kopírují jeho tvar. Hlavní části blanité labyrintu tvoří blanité polokruhovité chodbičky *(ductus semicirculares)*, vejčitý a kulovitý váček *(utriculus, saculus)*, blanitý hlemýžď.



Obr. 11 Kostěný labyrint, kostěná schránka blanitého labyrintu vypreparována z kosti skalní -pohled z laterální strany [3]



Obr. 12 Blanitý labyrint [3]

Tab. 1 Vnitřní ucho: základní součásti kostěného a blanitého labyrintu

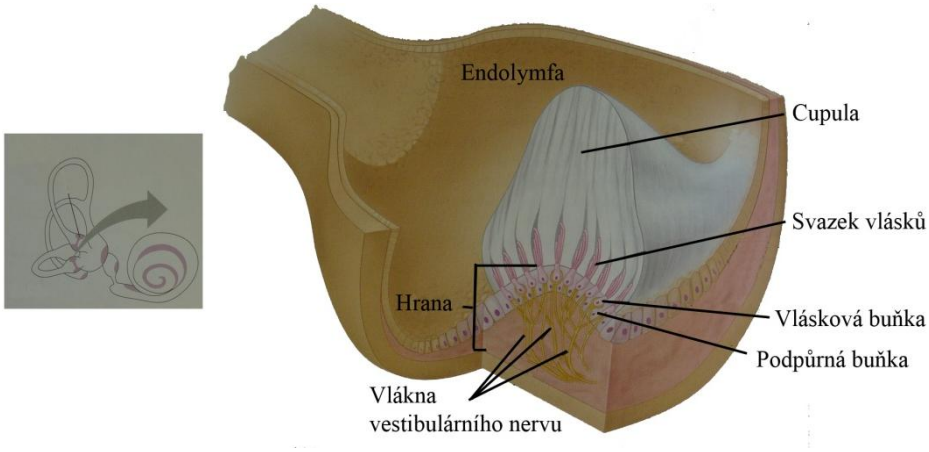
Kostěný labyrint	**Blanitý labyrint (uvnitř kostěného labyrintu)**	**Funkce blanitého labyrintu**
Polokruhovité kanálky	Blanité polokruhové chodbičky	Rovnováha: rotační (uhlové) zrychlení hlavy
Vestibulum	Vejčitý a kulovitý váček *(utriculus a sacculus)*	Rovnováha: statická rovnováha a lineární zrychlení hlavy
Kostěný hlemýžď *(cochlea)*	Blanitý hlemýžď *(ductus cochlearis)*	Sluch

Polokruhovité kanálky

Tři polokruhovité kanálky leží ve třech navzájem kolmých rovinách (obr. 12). Začínají z předsíně lahvicovitým rozšířením *(ampullae osseae)* a také v něm končí. Ve všech polokruhových kanálcích je uložena blanitá polokruhová chodbička *(ductus).* Každá z těchto chodbiček má výduť zvanou *membránová ampula* umístěnou do odpovídající kostěné ampuly. Každá membránová ampula obsahuje drobný hřebenový výběžek – *statická hrana (crista ampullaris).* Statické hrany obsahují vláskové receptorové buňky zaznamenávající uhlové zrychlení (obr. 13).

Předsíň

Předsíň *(vestibulum)* je centrální dutinka kostěného labyrintu ve tvaru vajíčka. Je to vstupní část do vnitřního ucha, které je celé uložené v pyramidě kosti spánkové. Tvoří spojení s uchem středním a současně tam ústí jak hlemýžď, tak polokruhovité chodbičky. Uvnitř jsou uloženy dvě části blanitého labyrintu, vejčitý váček *(utriculus)* a kulovitý váček (*sacculus).*

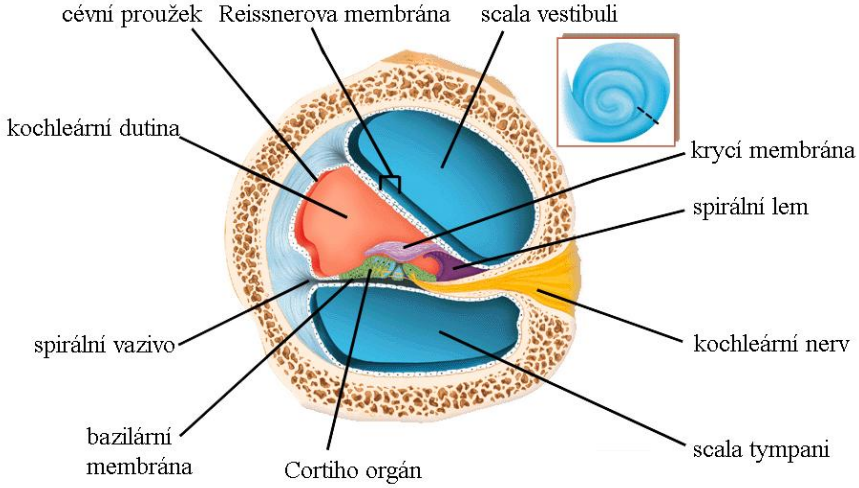


Obr.13 Anatomie statické hrany – řez ampulou [3]

Hlemýžď

Kostěný hlemýžď leží v přední části kostěného labyrintu a je tvořen spirálovitým kostěným kanálkem, který se obtáčí kolem přibližně 5 mm dlouhé kostěné osy. Hlemýžď vytváří 2,5 závitu. Po celé délce kostěného hlemýždě vychází z modiolu kostěná ploténka (lamina spiralis ossea), na kterou se upínají basilární a Reisnerova membrána, tvořící blanitý labyrint.

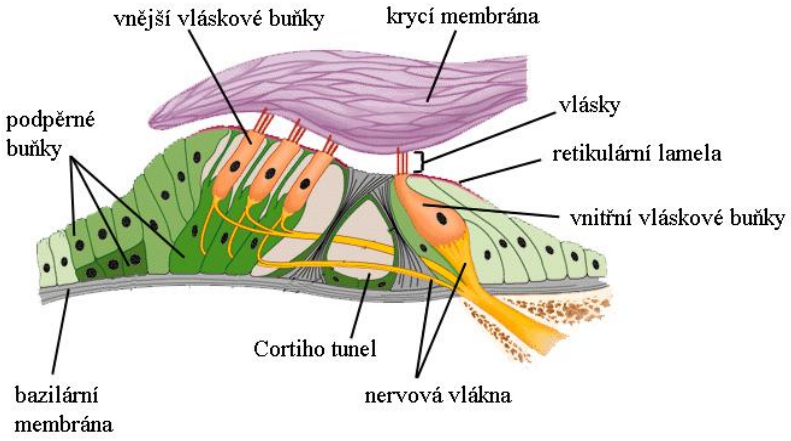
V kostěném hlemýždi leží blanitý hlemýžď *(scala media)* vyplněný endolymfou mezi dvěma komorami *(scala vestibuli, scala tympani)* vyplněnými perilymfou (obr. 14). Blanitý hlemýžď nevyplňuje kostěného hlemýždě úplně. Scala vestibuli je pokračování předsíně při spodní straně hlemýždě, kde přiléhá na oválné okénko. Scala tympani naopak končí na okrouhlém okénku při spodině hlemýždě a tyto dvě komory se spojují na vrcholu hlemýždě. Tomuto místu se říká *helicotrema*.



Obr.14 Řez kochleou [12]

Blanitý hlemýžď obsahuje receptory sluchu. Vrchní stěna blanitého hlemýždě, který jej odděluje od scala vestibuli, tvoří Reisnerova (vestibulární) membrána. Vnější stěnu tohoto kanálku tvoří *cévní proužek (stria vascularis).* Spodina blanitého hlemýždě je tvořena kostěnou spirální ploténkou

(lamina spiralis), na kterou se upíná vrstva vláken zvaná *bazilární membrána*, jež slouží jako nosná struktura *Cortiho orgánu* (obr. 15), receptorového epitelu sluchu. Šířka bazilární membrány je proměnlivá. U helicotremy je nejširší a postupně k okrouhlému okénku se zužuje. Stejně tak taky její tloušťka a mechanické vlastnosti nejsou konstantní. Epitelové buňky Cortiho orgánu se skládají z cylindrických *podpůrných buněk* a několika řad *vnitřních* a *vnějších vláskových buněk*, což jsou receptorové buňky, ze kterých vystupují vlákna sluchového nervu.



Obr.15 Detail Cortiho orgánu [12]

Tato celá kapitola se zabývá anatomickým popisem sluchové soustavy. Do této chvíle jsme se věnovali pouze periferní části sluchové soustavy, ale je také potřebné se ve zkratce zmínit i o centrální části sluchové soustavy, která se odděluje od její periferní části svými vlákny sluchového nervu vybíhající od hlemýždě. Jedná se o smyslová vlákna. Sluchový nerv se skládá ze dvou svazků: k*ochleární nerv (nervus cochlearis)* a *vestibulární nerv (nervus vestibularis)*. Vestibulární nerv vychází ze statického ústrojí. Při průběhu spánkovou kostí se k těmto nervům také připojuje *nerv lícní (nervus facialis).* Sluchový nerv prochází jádry šedé hmoty až do mozkové kůry.

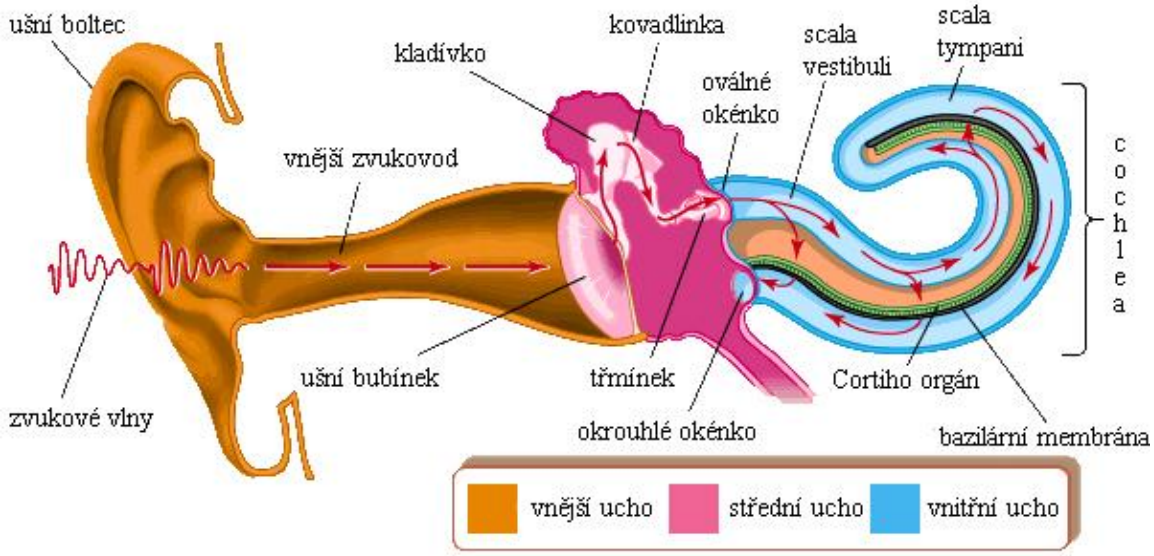
Sluchové centrum je uloženo ve spánkovém laloku, kde se zpracovávají sluchové podněty. Sluchová oblast sehrává důležitou roli při analýze složitějších signálů jako je řeč. Informace o stavu rovnováhy spolu se sluchovými informacemi vedeny do mozku, kde se dále zpracovávají.

Fyziologie ucha

Fyziologický význam jednotlivých částí ucha tedy spočívá v přijímání podnětů z okolí, převodu zvuku do vnitřního ucha.

Vnější ucho

Zvuk je nejprve zachycen ušním boltcem, který chrání vstup do vnějšího zvukovodu a zároveň usměrňuje zvuk do zvukovodu. Důležitost má též akustický stín hlavy, která stíní zvuky dopadající z opačného směru. Směrový efekt vnějšího ucha se však projevuje jen u vyšších tónů. Zatímco hlubší tóny (do 200 Hz) vnímáme ze všech směrů ve stejné intenzitě. Zvukové vlny postupující zvukovodem rozechvívají bubínek a ten se rozkmitá. Frekvence kmitů bubínku je asi 200 kmitů za sekundu. Rozkmit bubínku je poměrně malý, což značí malou setrvačnost kmitání. Tato skutečnost je významná při zachycování různých rychle po sobě jdoucích zvuků.



Obr. 16 Fyziologie sluchu [12]

Střední ucho

Střední ucho má činnost převodní a činnost ochrannou. Významnou roli v převodním ústrojí mají také svaly: *napínač bubínku (mutulus tensor tampani)* a *třmínkový sval (mutulus stapedius)*. Ty vykonávají ochranou funkci. Přijde-li do sluchového orgánu nějaký silný zvuk, oba tyto svaly se okamžitě smrští (se zpožděním jen několika milisekund). Tím se zvětší napětí bubínku i oválného okénka a ztíží se tak přenos hlavně hlubokých tónů. K dalším funkcím patří také reflexní udržování konstantní intenzity zvuku, redukce rušivých šelestů vznikajících v organismu samém.

Převodní činnost je uskutečněna vibracemi řetězu kůstek, jimiž se přenáší chvění bubínku na oválné okénko. Kloub mezi kovadlinkou a třmínkem dovoluje jen malý pohyb, takže při přenosu vibrací se chovají první dvě kůstky jako jeden celek. Pohyby třmínku v oválném okénku nejsou čistě pístové (nekoná pohyb pouze ve směru jedné osy), mají i rotační složku.

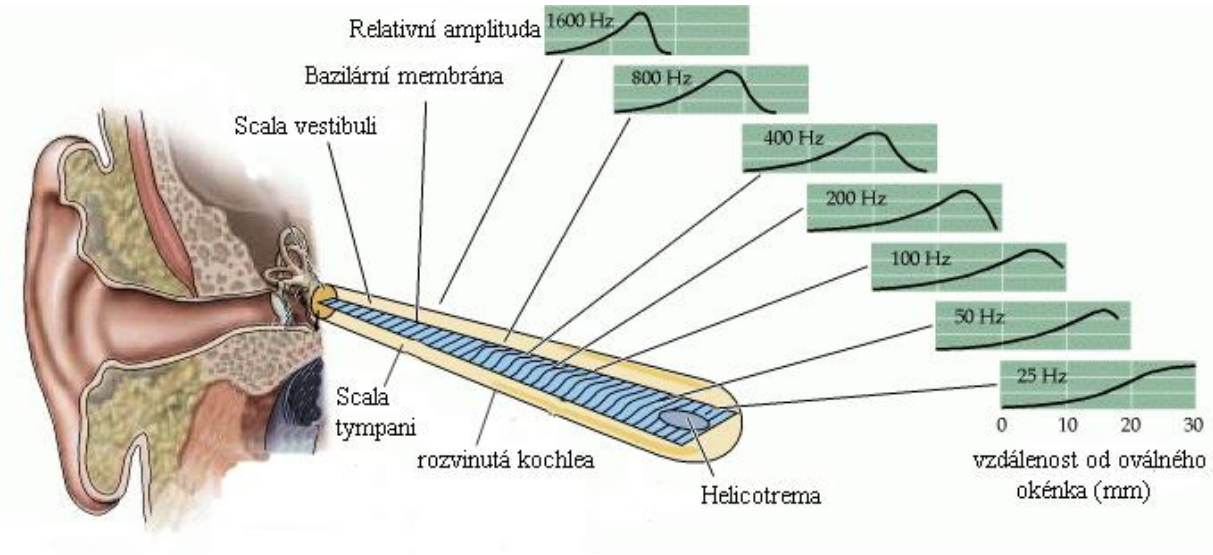
Střední ucho funguje jako akustický transformátor mezi vzduchem a tekutinou labyrintu, jež mají značně rozdílný vlnový odpor. Zvuková energie se sbírá z poměrně velké plochy bubínku, která se přenáší na malou plošku oválného okénka. Tím se na jednoduchém hydraulickém principu zvětší zvukový tlak a zvuková energie přechází beze ztráty do perilymfy. Proto při defektu středního ucha nastává nedoslýchavost.

Význam Eustachovy trubice

Eustachova trubice spojuje střední ucho s nosohltanem. Jejím úkolem je zajistit příslušný tlak v dutině bubínkové, neboť jinak je kmitání bubínku značně omezeno a sluch se velmi zhorší. Za klidu je eustachova trubice uzavřena a otevírá se pohyby svalů při polknutí a zívnutí, přičemž se tlak v uchu a v nosohltanu vyrovná.

Vnitřní ucho

Přes oválné okénko jsou vibrace přeneseny na perilymfu ve hlemýždi. Chvění perilymfy působí ze spodní strany na vlákna bazilární membrány, která se rozkmitá. Dojde k posunutí krycí membrány směrem k bazilární membráně a k podráždění vláskových buněk a jejich vychýlení. Na bazilární membráně odpovídá vždy určitému místu určitá zvuková frekvence. Tóny s nižší frekvencí rozkmitají bazilární membránu v místech u helikotremy a čím vyšší frekvence tónu tím je místo rozkmitání bazilární membrány blíže oválnému okénku (obr. 17). Mechanické vlnění je v Cortiho orgánu přeměněno na elektrické impulsy, které jsou vedeny sluchovým nervem v Heschlových závitech. Tam dochází k dekódování. Impulsy jsou vnímány jako zvuk. Do mozku vede elektrické impulsy více než 30 000 nervových vláken.



Obr. 17 - Místo maximální výchylky kmitu bazilární membrány v závislosti na frekvenci zvuku [1]

Celá řada vědců se snažila zjistit, jakým způsobem lidské ucho vnímá a přenáší složité zvuky, jak dochází ke sluchové analýze a syntéze zvuků. Z toho důvodu vzniklo několik teorií o slyšení, z nichž zde některé druhy uvádím: *Helmholtzova rezonanční teorie, Békésyho teorie, frekvenční teorie, smíšené teorie.*

Helmholtzova rezonanční teorie je založena na tvrzením Cortiho orgán je podobný řadě rezonátorů, z nichž je každý naladěn na jiný tón. Zvukový podnět z vnějšího prostředí se dostane do vnitřního ucha, čímž se rozkmitá jeden nebo více rezonátorů naladěných na příslušné tóny a dojde k podráždění konce sluchového nervu dané tónové oblasti a dalšímu šíření do sluchových center v mozku. Rezonanční funkci plní vlákna bazilární membrány. Tudíž místa na bazilární membráně, která nejvíce vibrují, určují, která nervová vlákna budou aktivována nejvíce. Tím se určuje výška tónu, který vnímáme. (Na základě této teorie se dá vysvětlit schopnost rozeznání akordů, kdy dochází k podráždění několika vláken zároveň. Tak se vytváří několik současných pocitů, které si však ucho rozkládá v jednotlivé složky.)

Békésyho hydromechanická teorie vysvětluje kmitání v hlemýždi jako šíření vlny v trubici s pružnou stěnou, kterou představuje bazilární membrána. Po bazilární membráně se při vychýlení třmínku šíří rozruch rychlostí poměrně malou, tudíž vlnová délka i při nižších frekvencích je menší než délka bazilární membrány. To umožňuje vznik jakýchsi rezonancí s maximem při určité frekvenci na určitém místě.

V roce 1940 Georg von Békésy měřil pohyb bazilární membrány přes malé otvory vyvrtané ve stěně hlemýždě. Sledoval tak mikroskopem pod stroboskopickým světlem. Mohl tak změřit maxima kmitání na určitých místech. Zjistil, že nízké frekvence způsobují vibrace konce bazilární membrány (u vrcholu) a vysoké frekvence hned na začátku. V místech největší výchylky viděl Békésy víry kapaliny a považuje je za původce podráždění. Za své objevy v oblasti sluchu obdržel Békésy v roce 1961 Nobelovu cenu.

Frekvenční teorie, kterých je spousta, předpokládají, že tón se nerozpozná podle místa podráždění, ale podle frekvence nervových impulsů (při každé periodě je vysílán vzruch do ústředního nervstva a tak je reprodukována frekvence a tvar zvukové vlny. Ústřední nervstvo přímo vnímá periodu impulsu. Souhlas frekvence nervových vzruchů s frekvencí zvuku až do určité meze potvrdili Wever a Bray zápisem tzv. *akčních potenciálů* ve sluchovém nervu.

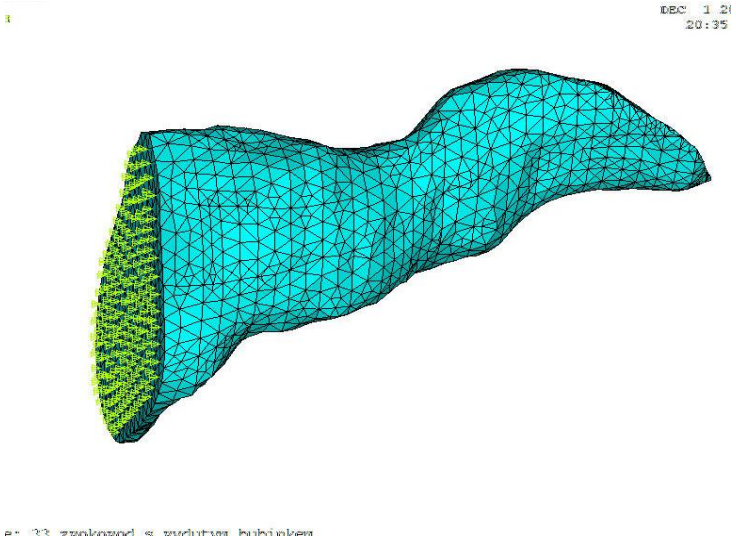
Smíšené teorie předpokládají, že se oba principy (místní rozvrstvení, poznání frekvence při sluchových vjemech) kombinují.

Žádná z uvedených teorií však nedokáže plně vysvětlit rozlišovací schopnosti lidského sluchu. Je prokázáno, že hrubé rozlišení výšky tónu se děje na určitých místech bazilární membrány – u vrcholu hlemýždě hluboké tóny, při bázi vysoké tóny. Mechanické vysvětlení jemné rozlišovací schopnosti sluchu, a to nejen frekvence, ale i hlasitosti, však zatím není zcela prokázáno.

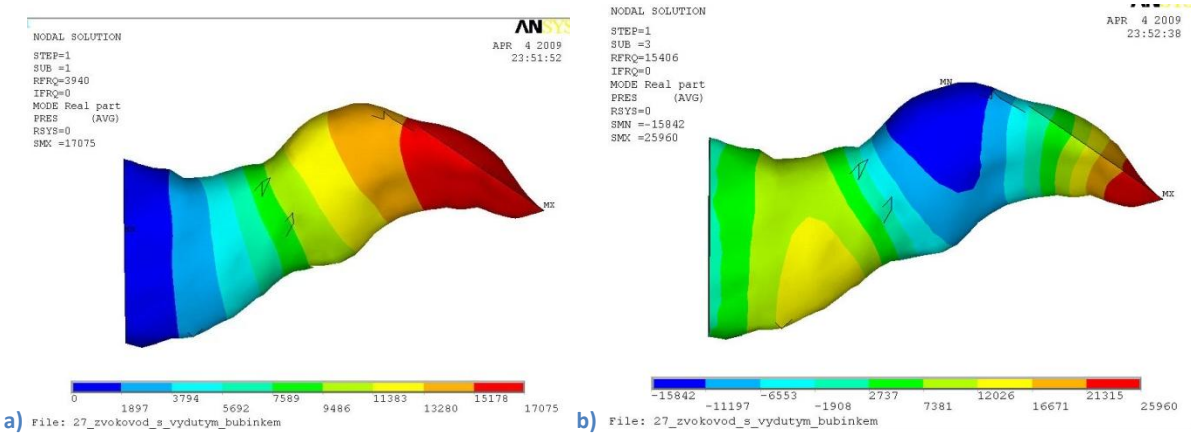
MKP modely sluchové soustavy

Pro analýzu sluchové soustavy se používají v rámci ústavu ÚMTMB FSI VUT Brno výpočetní softwary ANSYS a SYSNOISE. V této kapitole budou uvedeny konečno-prvkové modely různých částí sluchové soustavy, kdy modely byly vytvářeny v 3-D softwaru CATIA V5R18 a analýza byla provedena v MKP softwaru ANSYS.

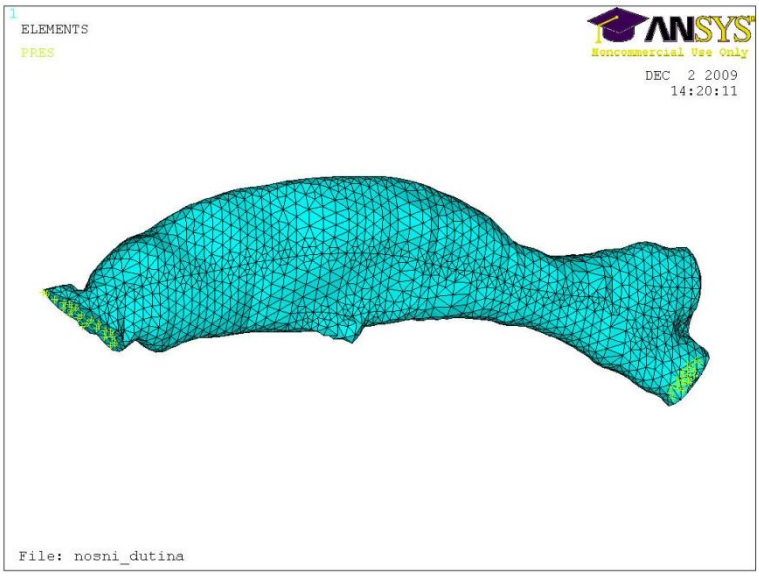
MKP modely akustických kavit sluchové soustavy



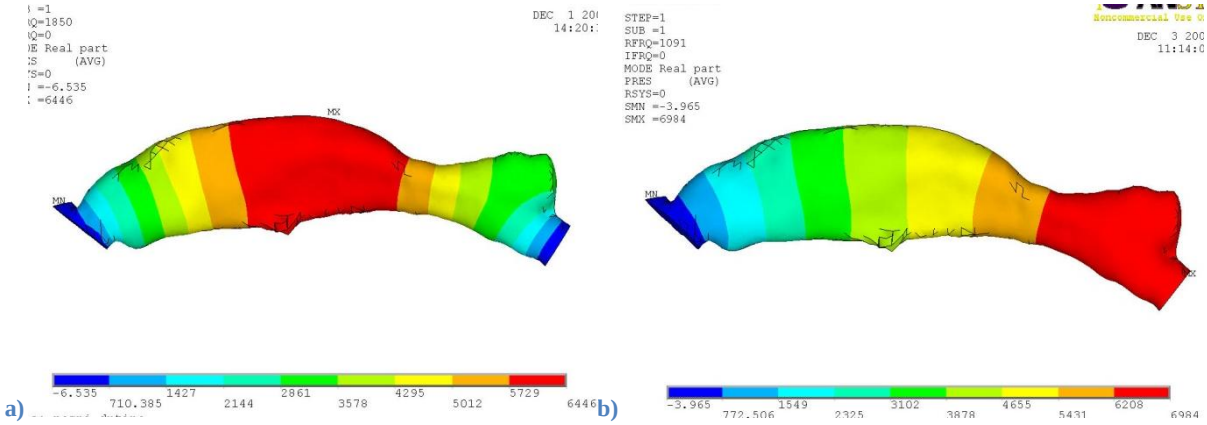
Obr. 18 MKP model vnějšího zvukovodu



Obr. 19 Vlastní frekvence vnějšího zvukovodu – a) 1. mód
b) 3. mód



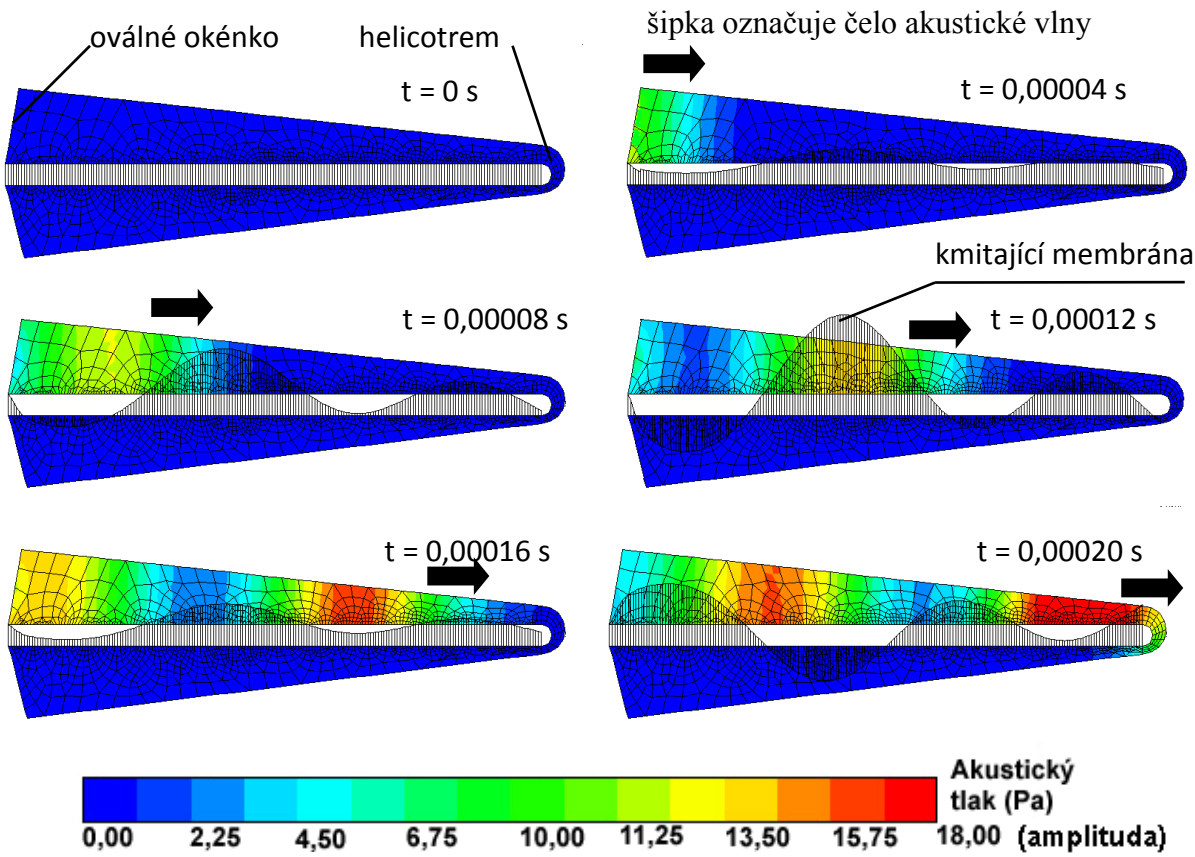
Obr. 20 MKP model kavity nosní dutiny



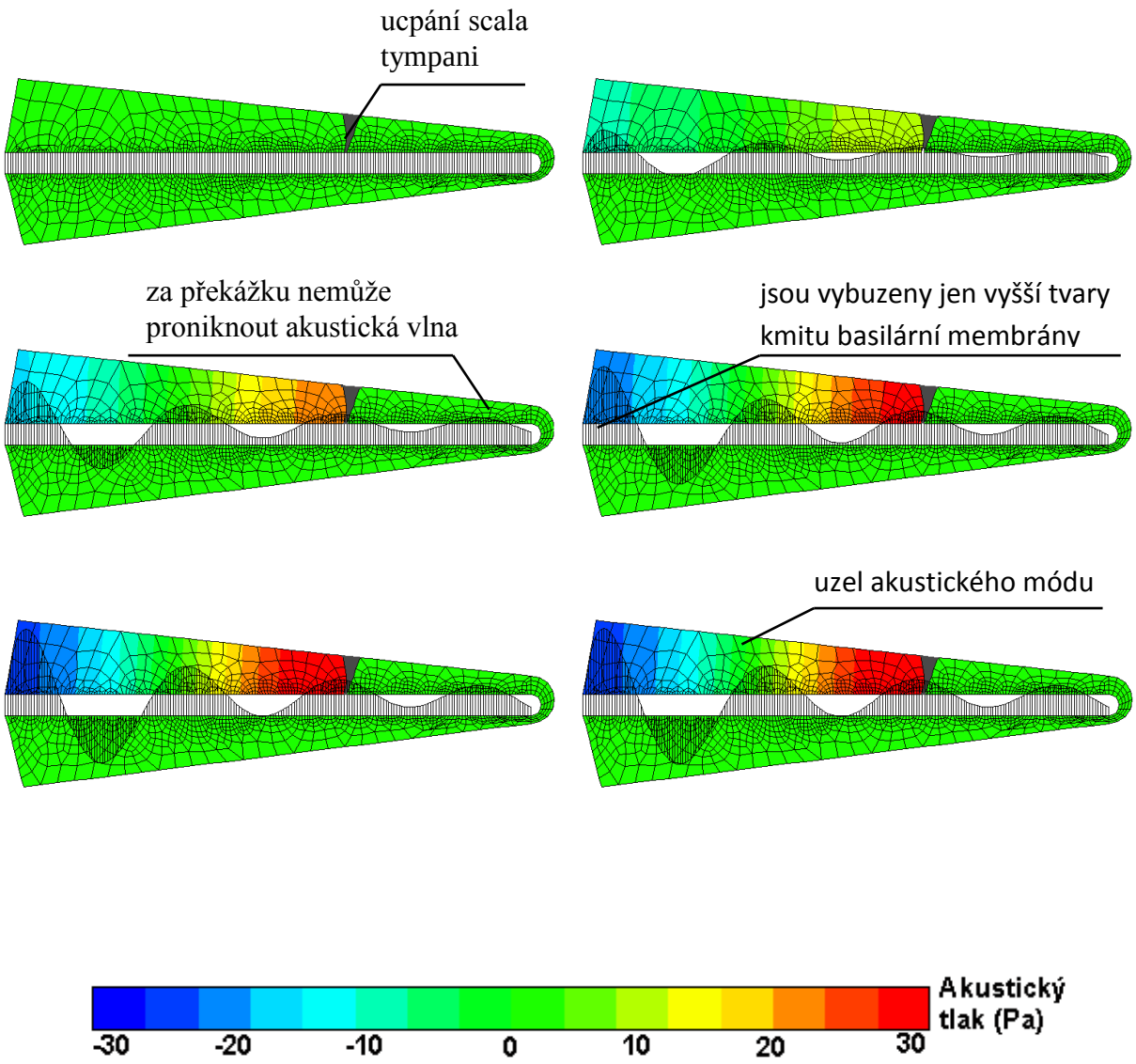
a) b)

Obr. 21 1. vlastní frekvence kavity nosní dutiny – a) otevřená záklopka
b) zavřená záklopka

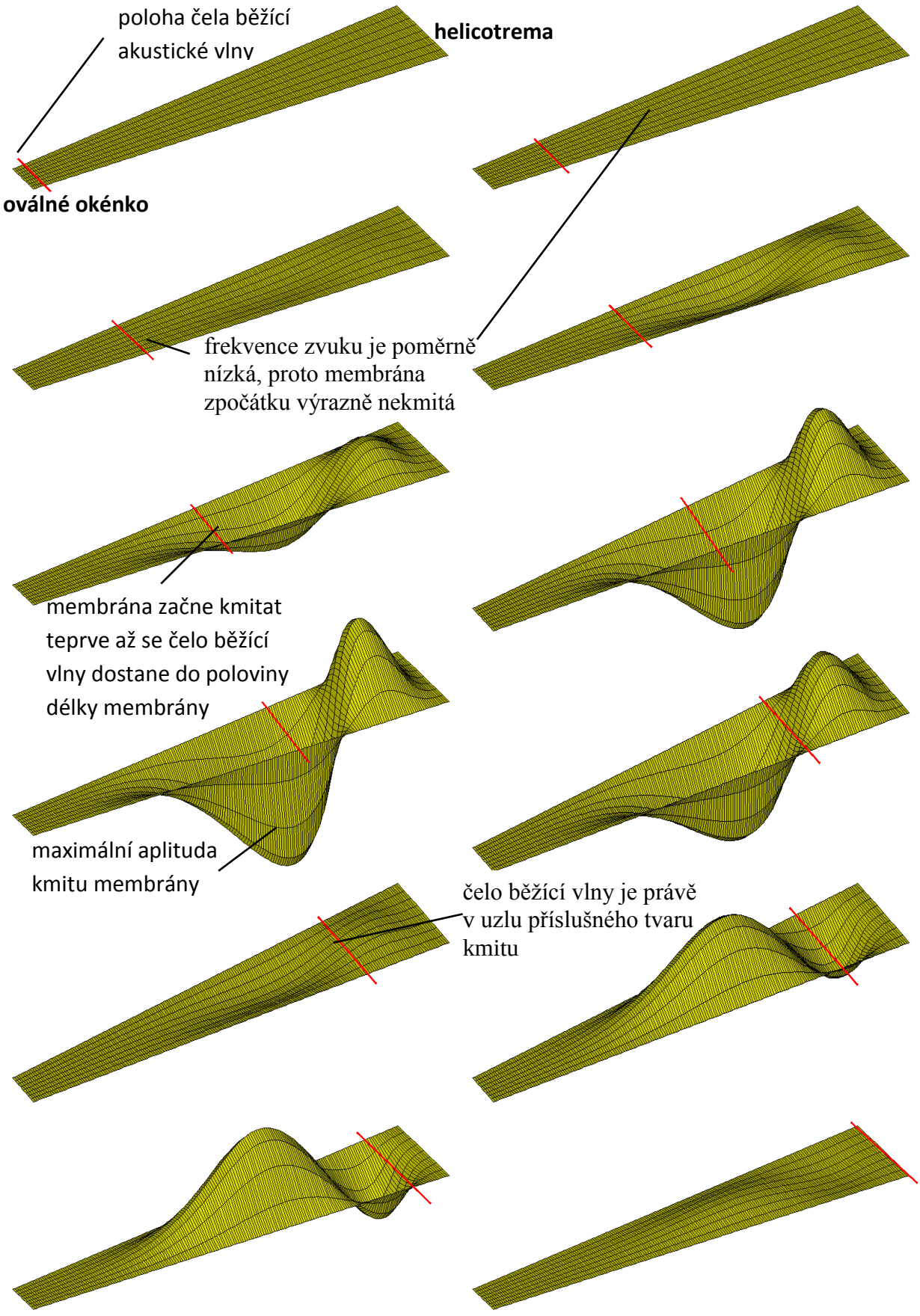
Odezva kochley na vlnu



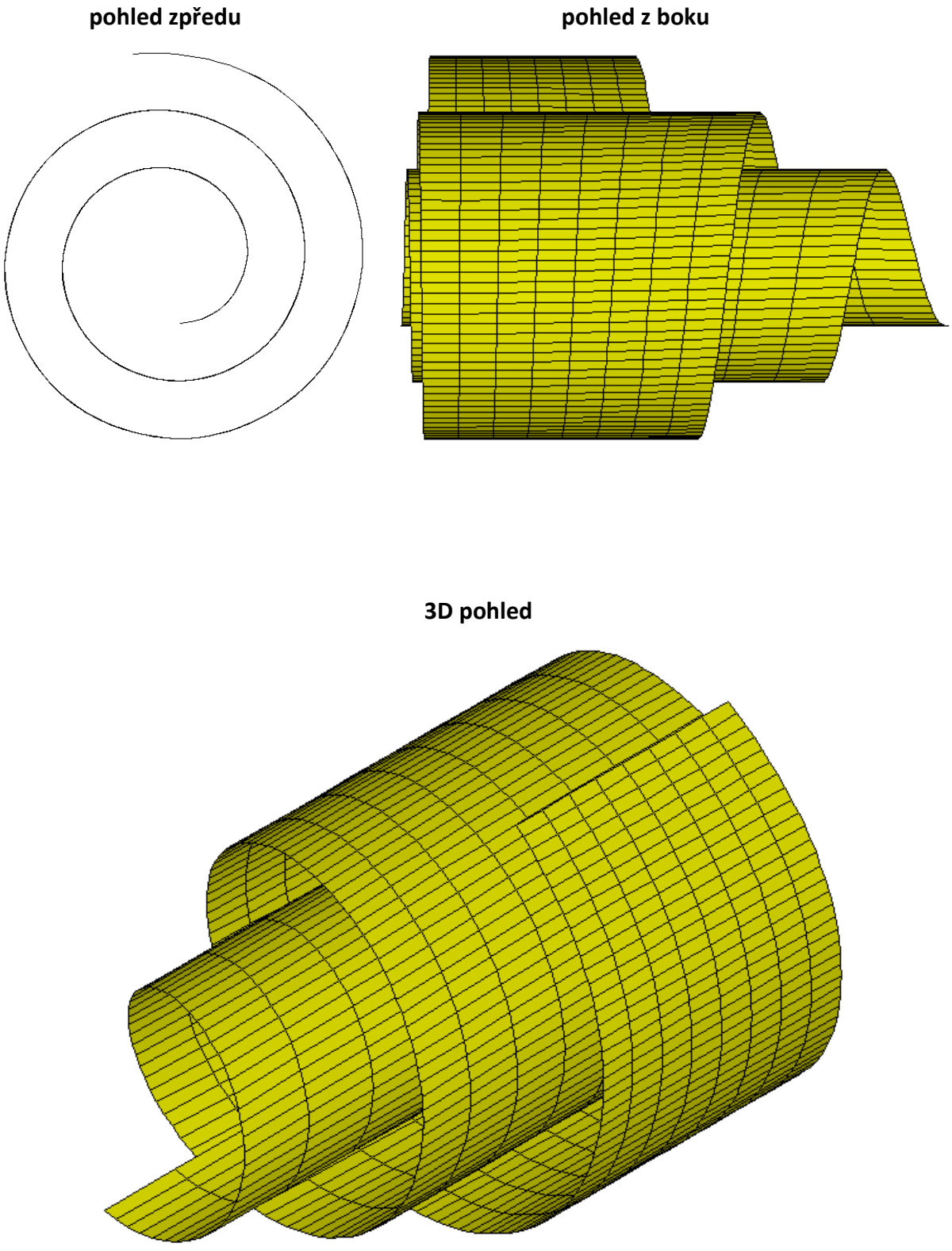
Obr. 22 Běžící akustická vlna v perilymfě a vybuzené kmitání basilární membrány[1]



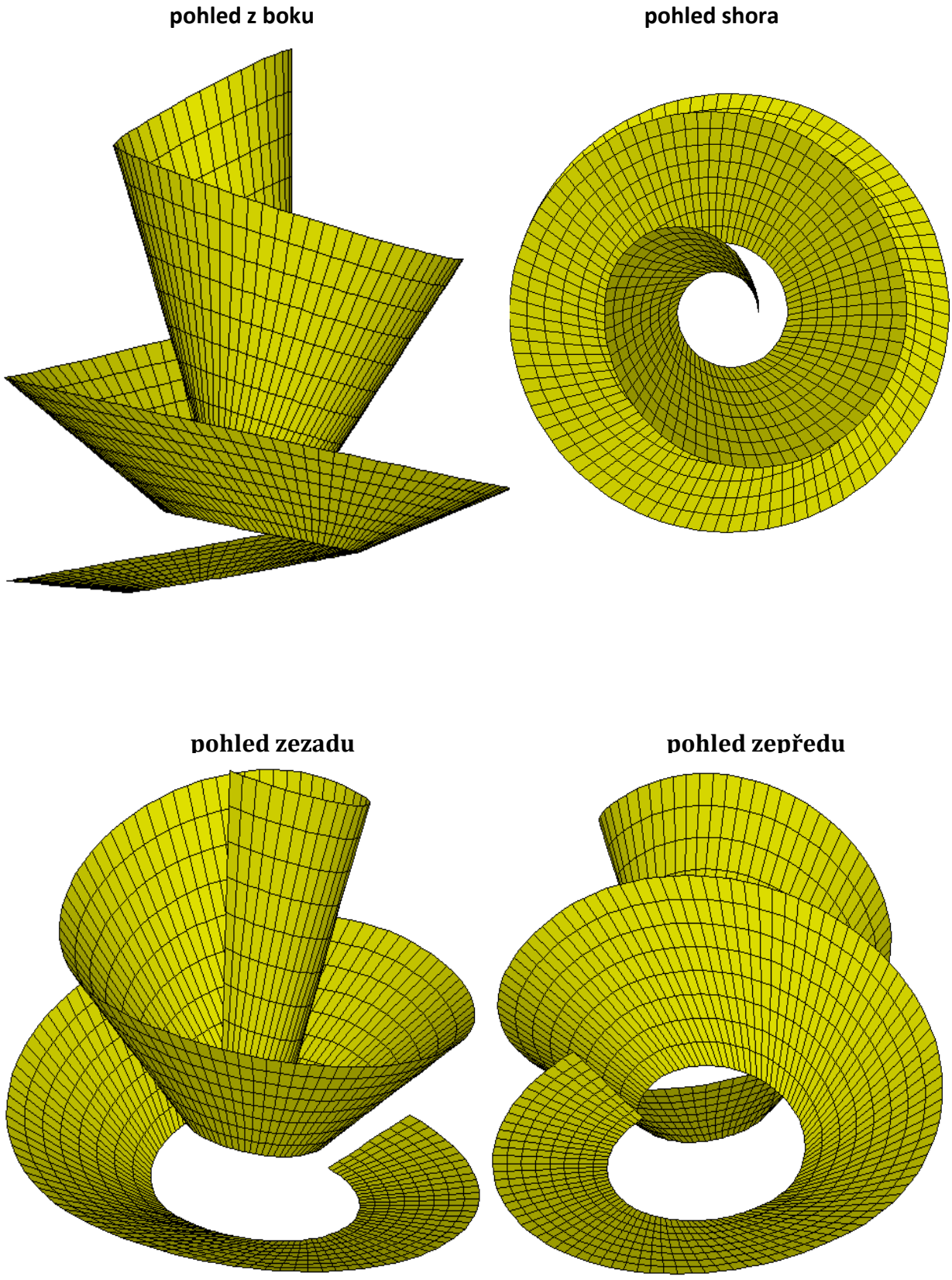
Obr. 23 Vznik akustického módu při úplném ucpání scala vestibuli [1]



Obr. 24 Běžící akustická vlna o frekvenci f = 2 574 Hz [1]



Obr. 25 Další prostorové MKP modely bazilární membrány [1]



Obr. 1.26 – Další prostorové MKP modely bazilární membrány [1]

Použitá literatura:

[1] - Ing. Petr Janovský, *Modelování lidského sluchu,* Disertační práce, ÚMTMB FSI VUT Brno 2004

[2] - Magda Crháková, *Smysly – ucho*, Bakalářská práce, MASARYKOVA UNIVERZITA, Fakulta sportovních studií, Katedra sportovní medicíny a zdravotní tělesné výchovy

[3] - .Putz, R., Pabst, R. a kol., *Sobottův atlas anatomie člověka*, Grada Publishing, Praha, 2007, ISBN 978-80-247-1870-5

[4] - Marieb, E. N., Mallat, J., *Anatomie lidského těla*, Computer press, Praha, 2005, ISBN 80-251-0066-9

[5] - Markalous, B., Charvát, F. a kol., *Zobrazení hlavy – paranazální dutiny, lební baze a obličejová část*, Maxdorf, Praha, 2000, ISBN 80-85912-20-1

[6] - Mgr. Barbora Bočková, *Přístupy k terapii vývojové dysfázie*, Disertační práce, Masarykova univerzita, 2008

[7] - Dalibor Janeček, *Struktura středoušní sliznice a její změny při chronickém středoušním zánětu*, Disertační práce, Masarykova univerzita, 2005

[8] - http://www.stranypotapecske.cz/teorie/eustach.asp?str=200408241518290

[9] - http://ms.gymspgs.cz:5050/bio/Documents/BiologieCloveka.pdf

[10] - http://www.cmail.cz/cpe/clanky/fysiolog/fysiolog.htm

[11] - NOVÁK, A. *Audiologie. Vyšetřovací technika, diagnostika, léčba a rehabilitace*, Praha: vlastním nákladem autora, 2003

[12] - http://www.britannica.com/EBchecked/topic/175622/human-ear

[13] - http://www.chicagoear.com/med_info/cholesteatoma.htm

[14] - http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/imagepages/19596.htm