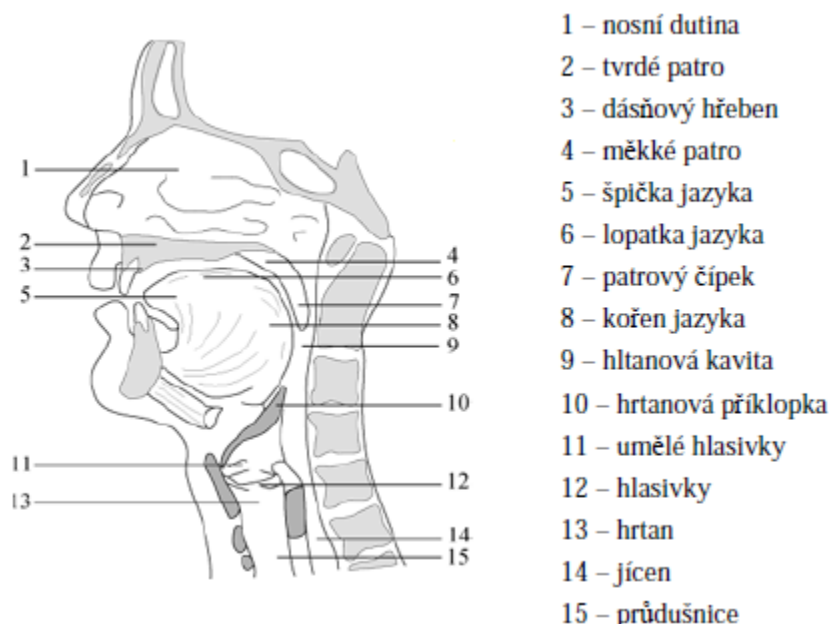


Hlas

Anatomie vokálního traktu

Lidský hlas je tvořen v dýchací soustavě zobrazené na obr. 1. V souvislosti s tvorbou hlasu mluvíme o dýchacím ústrojí jako o hlasovém akustickém systému.



Obr. 1 Dýchací soustava [1]

Vokální orgány a jejich funkce

Vokální orgány tvoří tři skupiny: ústrojí dýchací, ústrojí hlasové, ústrojí modifikační.

Ústrojí dýchací (respirační)

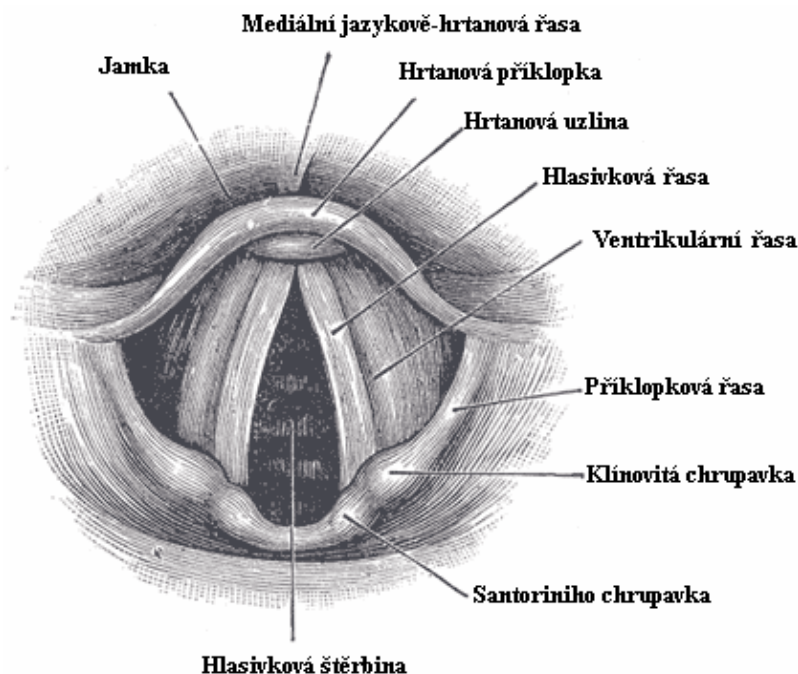
Dýchací ústrojí slouží primárně k základní životní funkci, kterou je fyziologické dýchání. Při řeči se fyziologické dýchání mění. Poměr vdechu a výdechu je při běžném dýchání asi 2 : 3 (16-20x za minutu), kdy se najednou v klidu vdechne a vydechne jen asi 0,5 litru vzduchu. Při řeči se vdech nápadně zkracuje a výdech se prodlužuje 1 : 7 až 1 : 12 a zvětšuje se objem vdechnutého vzduchu na zhruba 1,5 litru. Množství nadechnutého vzduchu i rytmus dýchání se při řeči řídí zčásti i vědomě, zatímco fyziologické dýchání je reflexivní, i když jej dokážeme ovládat. Při fyziologickém dýchání se doporučuje nadechovat nosem, při řeči se vdech provádí nosem i ústy, protože je nutno v malém čase naplnit plíce maximem vzduchu. Zkušený člověk zvládá dýchání při mluvení bez nežádoucích zvukových efektů.

Ústrojí hlasové

Hlasové ústrojí zobrazené na obr. 2 je uloženo v hrtanu. Je typicky lidským orgánem a jeho funkcí je vytvářet zdrojový hlas, jehož dalšími úpravami vzniká vlastní řeč.

Základem hlasového ústrojí jsou dvě hlasivkové řasy pokryté sliznicí, tzv. hlasivky (chordae vocales). Ty jsou napjaty mezi chrupavkou štítnou (vpředu), kde se navzájem stále dotýkají, a chrupavkami hlasivkovými. Hlasivkové chrupavky jsou umístěny vzadu na rozšířené části prstencové chrupavky a jsou částečně pohyblivé. Mohou se různým způsobem otáčet, sblížovat a měnit sklon. Jejich kloubní spojení s prstencovou chrupavkou je mimořádně složité. Také způsob jejich nervového a svalového ovládání je komplikovaný a dosud nebyl dostatečně odborně popsán. Hlasivky jsou složeny z vazivové

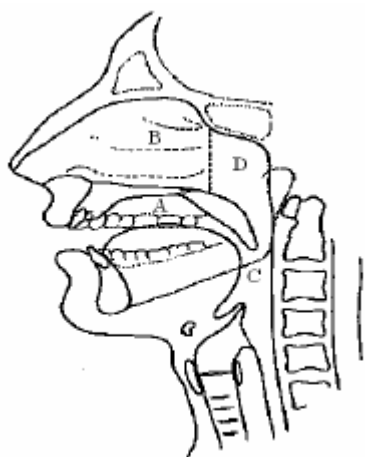
části, podél níž jsou hlasivkové svaly, podílející se na napínání hlasivek spolu s posuny chrupavek tvořících hrtan a hlasivkových chrupavek. Mezi hlasivkami se vytváří hlasivková štěrbina (glottis). Má tvar trojúhelníku s vrcholem vpředu v klenbě chrupavky štítné a její dvě třetiny jsou ohraničeny blanitou částí hlasivek. Zадní třetina je tvořena okrajem hlasivkových chrupavek, pokrytým podobně jako hlasové řasy jemnou, a tudíž snadno zranitelnou sliznicí.



Obr. 2 Hlasové ústrojí [1]

Ústrojí modifikační

Modifikační ústrojí je uloženo nad hrtanem. Skládá se z dutiny hrdelní, dutiny nosní a dutiny ústní. Tyto rezonanční dutiny jsou zobrazeny na obr. 3.



- A - dutina ústní - orální
- B - dutina nosní - nazální
- C - dutina hrdelní - laringální
- D - měkké patro

Obr. 3 Rezonanční dutiny [1]

Dutina hrdelní (laryngální)

Rozkládá se bezprostředně nad hlasivkami a končí v místech, kde se jazyk při artikulaci nejvíce přiblíží patru. Při řeči se hrdelní dutina účastní jako rezonační prostor. Její objem je proměnlivý pohybem kořene jazyka, pozicí jazyka v ústech a činností hrdelních svalů. Tyto objemové změny hrdelní dutiny se uplatňují zejména při tvoření samohlásek.

Dutina nosní (nazální)

Je také rezonančním prostorem, který se však využívá jen při výslovnosti nosových hlásek (nazál). V češtině to jsou zejména souhlásky M a N. Při většině hlásek je průchod do nosní dutiny uzavřen tím, že se měkké patro (velum) zvedá a přitiskuje k zadní stěně ústní dutiny.

Velum je orgán, jehož primární funkcí je zavírat vstup do nosní dutiny při polykání potravy. Při dýchání je spuštěno a vzduch mezi plícemi a chřípím nosu volně prochází. Při artikulaci je v měkkém patru vždy určité napětí, a také patrohrtanový závěr není u všech hlásek stejně silný (nejslabší je u samohlásky A).

V některých jazycích se vytvořily i nazální samohlásky (nosovky), a to například v polštině nebo francouzštině, u nichž je nosní rezonance uplatněna v celém průběhu trvání hlásky, nebo jen částečně. České samohlásky mohou být pouze nazalizovány, tzn. při méně pečlivé výslovnosti mohou v sousedství nazál získat nosní přídech.

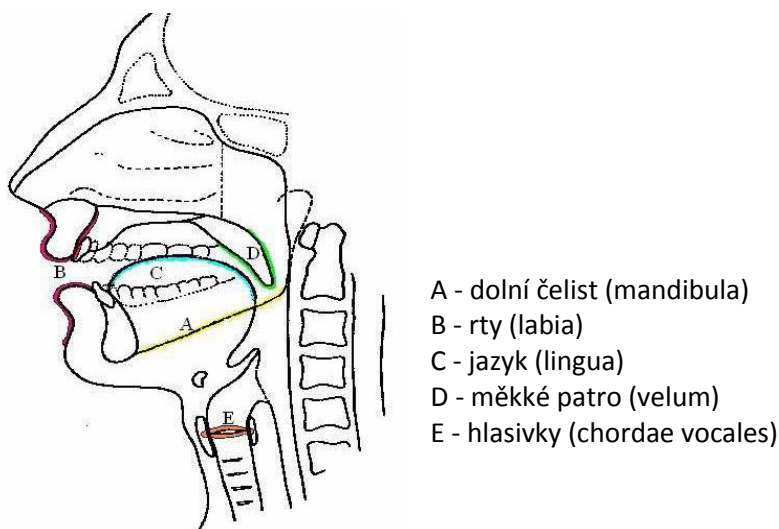
Dutina ústní (orální)

Vpředu je ohraničena rty, vzadu přechází do dutiny hrdelní. Ústní dutina se při řeči uplatňuje jako rezonanční prostor, který je přítomen u realizace každé hlásky. Objem tohoto prostoru je proměnlivý a pozměňuje se jak pohybem jazyka, tak pohybem rtů a čelistí. Spolu s proměnami hrdelní dutiny je tato změna využívána pro vytváření samohlásek. Spolupůsobí však i při tvoření souhlásek. Přeprada v ústní dutině, kterou se souhláska tvoří, člení prostor úst a důsledkem je pak charakteristická výška šumu.

Význam ústní dutiny pro výslovnost je především v tom, že v ní probíhá diferenciace většiny zvuků řeči. Jsou v ní, nebo na jejím okraji uloženy aktivní i pasivní vokální orgány. Aktivní jsou pohyblivé, jako pasivní orgány označujeme místa, na nichž se vytvářejí překážky nutné pro tvoření souhlásek.

Aktivní artikulátory

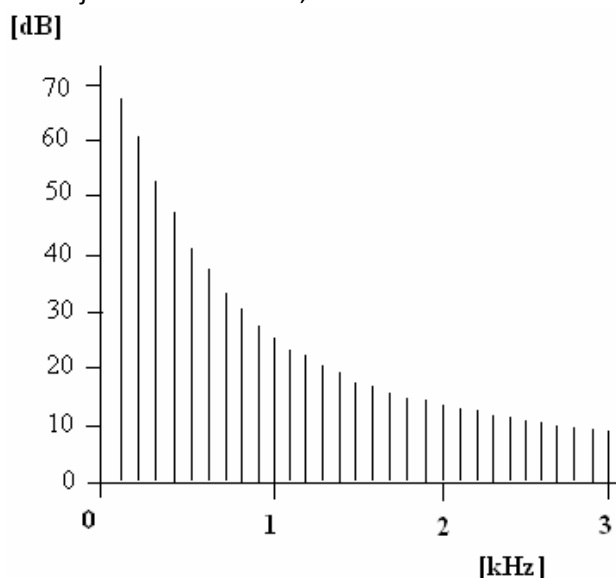
Aktivní vokální artikulátory uvedené na obr. 4 mají funkci změny tvaru vokálního traktu. Je to především dolní čelist (mandibula) jejímž pohybem se mění velikost čelistního úhlu. Mimo ústní dutinu jsou aktivním orgánem hlasivky (chordae vocales), uvnitř ústní dutiny velum (měkké patro, zadní patro), zejména jeho nejzadnější část čípek (uvula), dále nejdůležitější artikulační orgán jazyk (lingua) a rty (labia). Měkké patro a rty jsou při tvoření souhlásek orgány pasivní.



Obr.4 Aktivní vokální artikulátory [1]

Zdrojový hlas

Zdrojový hlas je zvuk, který se generuje na výstupu z hlasivek. Skládá ze základního tónu o frekvenci F_0 , která představuje základní frekvenci zdrojového hlasu a určitého počtu vyšších harmonických složek, které se postupně snižují o 6 dB na oktávu, viz obr 5.



Obr.5 Zdrojový hlas [3]

Charakteristiky zdrojového hlasu

- **výška** – fyzikálně odpovídá základní frekvenci kmitání hlasivek F_0
- **znělost** - (hlasivky vibrují)
- **neznělost** - (hlasivky nevibrují)
- **hlasitost** – fyzikálně odpovídá intenzitě
- **kvalita** – fyzikálně odpovídá poměru harmonických tónů ve hlase k neharmonickým složkám
- **barva** – je dána hmotou hlasivek, jejich délkou a tvarem rezonančních dutin
- **flexibilita** – odpovídá komplexnímu vjemu předchozích kvalit dohromady

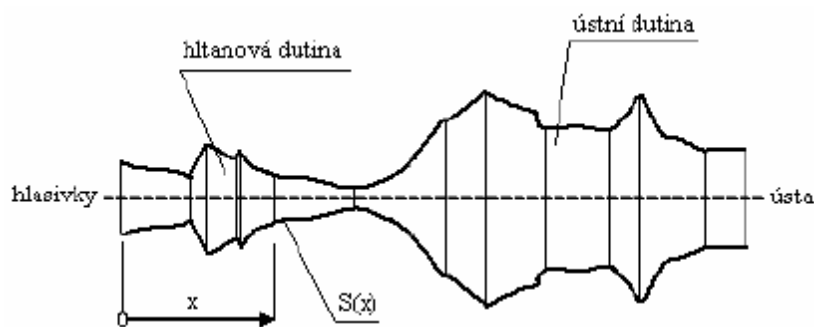
Základní frekvence zdrojového hlasu se u dětí, žen a mužů výrazně liší, jak je ukázáno v tabulce 1. To je dáno rozměry vokálního traktu. S jeho zvětšováním se základní frekvence snižují.

Tab. 1. Základní frekvence F_0 u dětí, žen a mužů

F_0 [Hz]			
	F_0 – střední	F_0 - minimum	F_0 – maximum
děti	330	200	500
ženy	220	150	350
muži	110	80	200

Vokální trakt

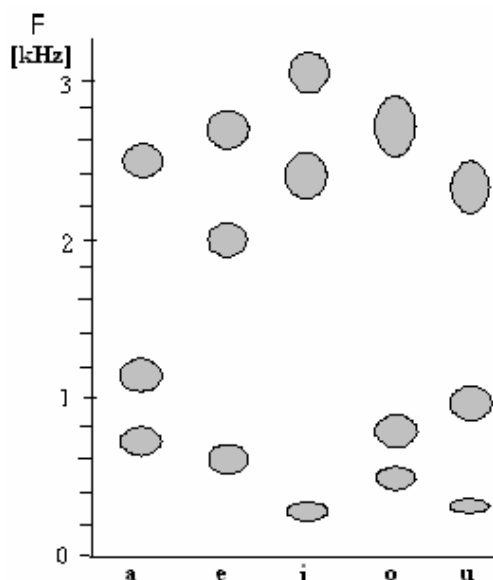
Vokální trakt má složitý tvar, který může být popsán sérií příčných průřezů funkčně závislých na vzdálenosti od hlasivek. Tyto průřezy mohou být modifikovány různým způsobem. Nejdůležitějším faktorem, který ovlivňuje tvar vokálního traktu a kvalitu samohlásek je poloha jazyka v ústní a hltanové dutině. Tento soubor svalů může zaokrouhlovat, zužovat a zmenšovat hltan a tím výrazně měnit jeho velikost. Vokální trakt je obvykle uvažován za nezávislý vůči hlasívkám.



Obr. 6 Rotační model vokálního traktu pro samohlásku A [3]

Formanty

Vlastní frekvence akustických módů vzduchového prostoru vokálního traktu se nazývají formanty a označují se symboly F_1 , F_2 , F_3 , atd. Sled rezonančních frekvencí akustických kavit vokálních traktů odpovídá podélným, příčným i vzájemně vázaným akustickým módům. Všechny formanty jsou určeny tvarem rezonančních dutin, dále tvarem a velikostí otvoru mezi rty, polohou a tvarem jazyka a stavem otevření hlasivek. Z hlediska akustické definice dané samohlásky jsou pro srozumitelnost významné pouze první tři formanty. Srovnání formantů jednotlivých českých samohlásek je uvedeno na obr. 7.



Obr. 7 Srovnání formantů F_1 , F_2 , F_3 u českých samohlásek [1]

Teorie zdroj – filtr pro generování hlasu

Vokální trakt je akustický filtr, který zesiluje frekvenční složky zdrojového hlasu hlasivek, které jsou blízké a rovny rezonančním frekvencím vokálního traktu. Budícím efektem vokálního traktu jsou hlasivky a především vzduchové pulsy, které hlasivky generují. Tento princip se nazývá teorií zdroj – filtr pro generování samohlásek a byl prvně definován Fantem (1960). Schéma této teorie je uvedeno na obr. 8.

Tato teorie vysvětluje vznik spekter samohlásek kombinací spektra zdrojového hlasu generovaného hlasivkami a filtrací tohoto spektra přenosovou funkcí vokálního traktu. Po průchodu vokálním traktem je zdrojový hlas upraven rezonančními frekvencemi tohoto vokálního traktu.

Pro amplitudové spektrum výstupního signálu platí:

$$V(jf) = H(jf) \cdot S(jf) \quad (1)$$

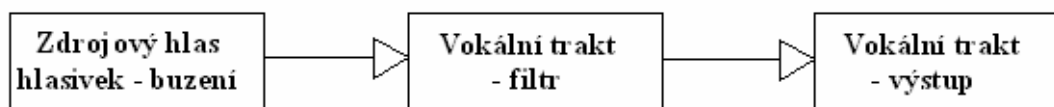
kde $H(jf)$ - přenosová funkce vokálního traktu

$s(t)$ – časová realizace záznamu

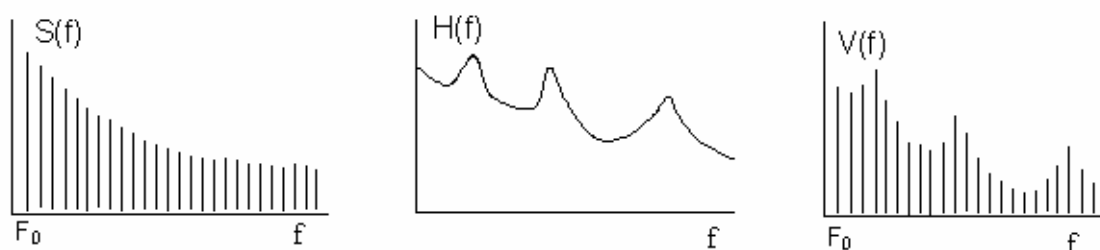
$$S(jf) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cdot e^{-j2\pi ft} \cdot dt \quad - \text{spektrum zdrojového hlasu} \quad (2)$$

Přenosová funkce vokálního traktu odpovídá amplitudovému spektru při jeho buzení konstantní amplitudou během celého frekvenčního rozsahu, tzn. odezva vokálního traktu na buzení s konstantní a jednotkovou amplitudou.

a) Modely:



b) Spektra signálů:



Obr. 8 Model zdroj – filtr pro generování samohlásek [3]

Zvyšováním základní frekvencí F_0 se také zvětšují odstupy harmonických složek. Obecně se harmonické složky zdrojového hlasu mohou vzdalovat od rezonančních frekvencí vokálního traktu (formantů dané samohlásky). Generovaná samohláska je poté nedostatečně akusticky definovaná (viz obr. 9). To způsobuje, že samohlásky zpívané vysokými tóny zní obdobně a je proto jedno, která z nich se vlastně zpívá. Tento jev se projevuje u vysokých hlasů jako například tenor nebo soprán.

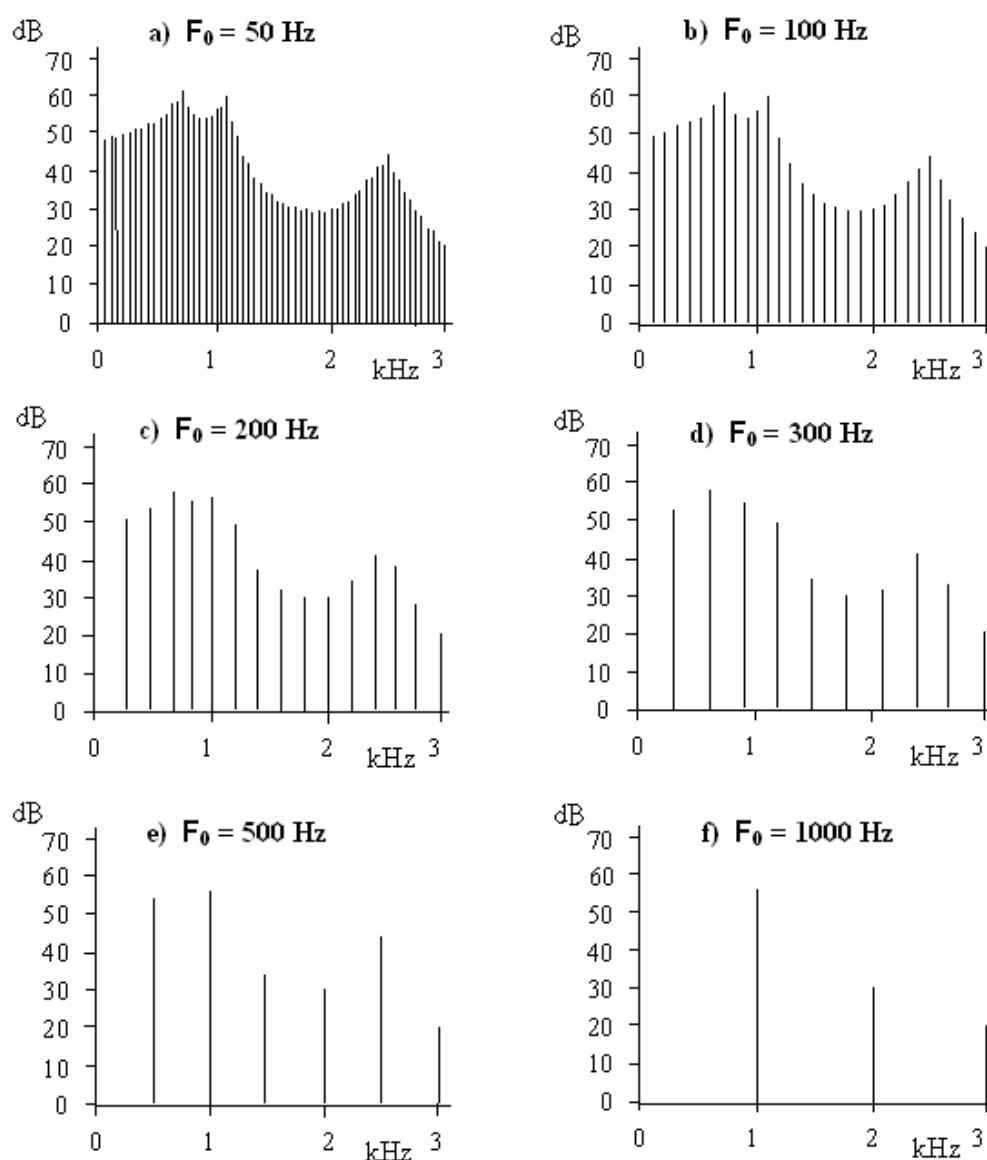
Artiklace

Artiklace samohlásek

Samohlásky a souhlásky se zásadně liší způsobem generování. Samohlásky vznikají rezonančními jevy akustických kavit vokálního traktu. Pro vygenerování jednotlivých samohlásek není nutný proudící vzduch přes vokální trakt. Samohlásky tedy můžeme budit jen akustickými vlnami, například vnějším zdrojem. Za samohlásky považujeme zvuky tvořené rezonančními frekvencemi (formanty) při různém nastavení částí vokálního traktu včetně nastavení rtů a jazyka. Samohlásky se liší v mnoha fonetických vlastnostech.

Spektrální vlastnosti samohlásek:

Jednotlivé samohlásky se liší nastavením tvarů vokálního traktu. Jeho akustické módy a odpovídající rezonanční frekvence se nazývají formanty. Každému tvaru vokálního traktu odpovídá jiný soubor vlastních frekvencí – formantů. Základní a přesnou charakteristikou samohlásek je tvar vokálního traktu, tj. tvar hltanové a ústní dutiny. Výraznější změny frekvenčního rozložení formantů můžeme dosahovat hlavně změnou příčných rozměrů jednotlivých částí vokálního traktu. Soubor nejméně tří formantů definuje akusticky každou samohlásku. Každé samohlásce odpovídá jiný soubor tří formantů. Tím je v daném jazyce menší počet samohlásek (např. v češtině) a jednotlivé samohlásky jsou akusticky lépe vzájemně odlišitelné, přesněji definované. Naopak čím je v daném jazyce více samohlásek nebo různých jejich variant (např. v angličtině), tím se akusticky vzájemně pro posluchače hůře identifikují.

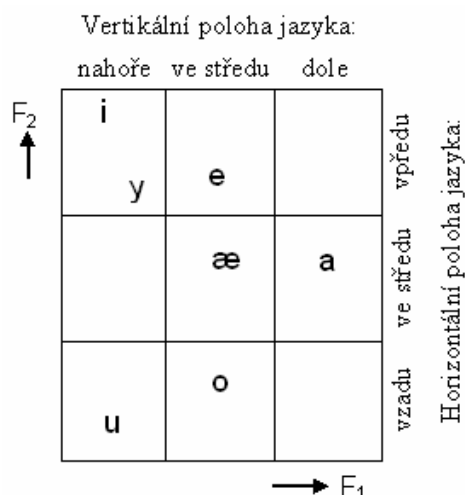


Obr. 9 Spektra samohlásky A pro různé základní frekvence zdrojového hlasu [3]

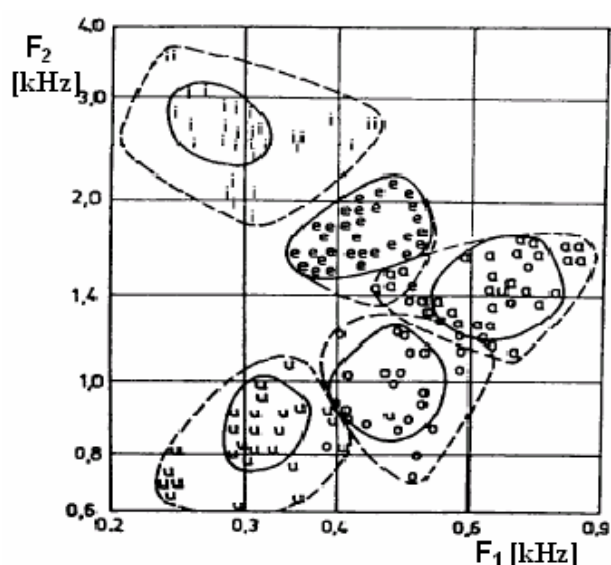
Neutrální samohláska æ , vyskytující se u anglických samohlásek má při rovnoměrně rozložených rezonančních frekvencích zhruba stejné maximální amplitudy intenzit.

Schematicky se poloha jazyka při vyslovování jednotlivých samohlásek zobrazuje pomocí tzv. Hellwagova trojúhelníku uvedeného na obr.10.

Z důvodu odlišnosti tvaru a velikosti vokálních traktů u jednotlivých lidí se frekvence jednotlivých formantů se mohou pohybovat v určitých tolerancích jak je vidět na obr. 11.



Obr. 10 Poloha prvních dvou formantů podle polohy jazyka [3]



Obr. 11 Rozptyl polohy prvních dvou formantů českých samohlásek [1]

Artikulace souhlásek

Artikulace souhlásek je realizována odlišným způsobem, než je tomu při artikulaci samohlásek. To je dáno tím, že zatímco samohlásky jsou akusticky tvořeny souborem rezonančních vlastností vokálního traktu, souhlásky potřebují proudící vzduch přes různá zúžení podél vokálního traktu. Z tohoto důvodu musí být vokální trakt pro tvorbu samohlásek volný po celé jeho délce a otevřený na straně ústního otvoru. U souhlásek může být zúžení vokálního traktu nebo jeho blokování umístěno v kterémkoliv místě. Souhlásky se liší od samohlásek aktivní částí vokálního traktu. U samohlásek je využíván celý vokální trakt, zatímco u souhlásek se uplatňuje proměnlivá část vokálního traktu. Charakterem generovaných zvuků jsou rezonanční frekvence u samohlásek a neperiodické šумы a periodické zvuky u souhlásek.

Teorie popisu tvorby hlasu

Teorie definovaná Van den Bergem v roce 1958 byla nazvána myo-elasto aerodynamickou teorií a její platnost je doposud všeobecně uznávána odbornou veřejností. Na tuto teorii pak navazovala a dosud stále navazuje převážná část světových odborníků, zabývající se tvorbou lidského hlasu a především

tvorbou zdrojového hlasu, který generují hlasivky. Ukázalo se však, že tato teorie není dokonalá a to vedlo k vytvoření nové teorie nazvané teorie fonace: bubliny stlačeného vzduchu.

Myo – elasto aerodynamická teorie

Základní myšlenky myo-elasto aerodynamické teorie jsou založeny na tom, že zdrojový hlas hlasivek je generován při průchodu vzduchu přes hlasivky. Základním parametrem je objemová rychlost vzduchových pulsů, které vznikají přerušováním proudu vzduchu z trachey vibrujícími hlasivkami. Jako budící efekt pro vokální trakt byla považována objemová rychlost, použitá v normalizovaném tvaru. Později byla objemová rychlost nahrazena derivací objemové rychlosti.

Při tvorbě zdrojového hlasu má zásadní úlohu proudící vzduch a jeho parametry. Těmi jsou tlak, hmotnost a rychlost proudu vzduchu. Pohyb hlasivek je zajištěn zejména díky Bernoulliho efektu. Je to podtlak proudícího vzduchu při průchodu proudu přes zúžená místa vibrujících hlasivek. Bernoulliho podtlak umožňuje uzavírání hlasivek. Aeroelastická interakce mezi proudícím vzduchem a elastickou tkání vyvolává oscilace hlasivek, takto vzniká tón o základní frekvenci F_0 . Vlastní frekvence hlasivek je ovlivněna intenzitou proudícího vzduchu přes hlasivky.

Tato teorie má však i zásadní nedostatky. Lidský hlas se skládá ze samohlásek a souhlásek. Samohlásky jsou buzeny jen akustickými vlnami vygenerovanými hlasivkami nebo jiným náhradním zdrojem a nevyžadují proudící vzduch, zatímco souhlásky proudící vzduch vyžadují. Samohlásky, které jsou produktem zdrojového hlasu a spektrálních vlastností vokálního traktu (formantů) tudíž nemohou být buzeny rovněž i proudícím vzduchem, jak to prezentuje myo-elasto aerodynamická teorie.

Člověk vědomě ovlivňuje funkci hlasivek (frekvenci, intenzitu), ovšem toho nemůže dosáhnout změnou parametrů typu rychlost proudění vzduchu a jeho hmotností. U výše zjednodušeně uvedené verze funkce hlasivek hraje důležitou funkci a roli samotný proudící vzduch a jeho proměnné parametry (tlak, rychlost, hmotnost). Pokud sledujeme proměnné $V(t)$ – objemovou rychlost, $V'(t)$ – derivaci objemové rychlosti a $P_{SPG}(t)$ – supraglotický tlak, můžeme určit, že pouze proměnná veličina, mající jednotky [Pa] může být korektním budícím efektem vokálního traktu. Touto proměnnou může proto být pouze intraglotický tlak mezi hlasivkami, vznikající při expanzi celkového subglotického tlaku $P_{SGC}(t)$ na supraglotický tlak $P_{SPG}(t)$. Tato skutečnost vyplývá z teorie přenosů.

Objemová rychlost a její derivace neobsahují jednotky tlaku, takže nelze pomocí těchto parametrů ovlivnit a budit vokální trakt a jeho formanty. Objemová rychlost a její derivace jsou výslednými efekty řešení dané konkrétní situace konkrétních hlasivek a nelze je považovat za příčiny buzení hlasivek.

Z toho vyplývá, že velkým nedostatkem sledované teorie je nutnost používat normalizované tvary budících účinků. Amplitudy objemových rychlostí musí být nutně voleny jednotkovými, což je obtížně použitelné u reálných soustav $P_{SGC}(t)$.

Normalizované hodnoty budících účinků nemohou při fonační fázi hlasivek, když jsou sepnuté, respektovat zvyšující se hodnotu subglotického tlaku. Při nedostatečné hodnotě subglotického tlaku nemusí vůbec docházet k rozpojení hlasivek a tudíž i k jejich fonaci. Proto uvedená teorie neřeší změnu střední hodnoty subglotického tlaku, která je příčinou změny intenzity zdrojového hlasu. Neřeší dokonale ani rozkmit hlasivek, tj. průběh mezery glottis v čase a její změnu při změně střední hodnoty subglotického tlaku.

Některé aplikace vyžadují úpravu parametrů modelu podle charakteru řešeného problému. Tento přístup umožňuje dosahovat v určité míře shodu vlastností použitého modelu s reálnou soustavou. Modely však neumožňují korektní definování odezvy při různých středních hodnotách subglotického tlaku. Aktivitou hlasivek se transformuje přerušovaný proud tlakového vzduchu z plic na akustický tlak, který je budícím efektem vokálního traktu a dále na zvýšenou rychlost proudu, která je nutná při tvorbě souhlásek. Proto je nutné, aby tlak vzduchu v trachey byl co nejvyšší (vyšší intenzita hlasu) a nebyl výrazně snižován přeměnou na rychlost proudění vzduchu hlasivkami.

Bernoulliho podtlak by se musel projevovat během cyklu otevírání a uzavírání mezery glotis, protože nejvyšší rychlost proudění vzduchu je v okamžiku rozevírání hlasivek.

Pokud je Bernoulliho efekt přítomen při pohybu hlasivek, pak by musel mít vyšší hodnotu při rozevírání hlasivek, kdy je vyšší subglotický tlak a proto i vyšší rychlost průtoku mezerou glotis a nikoliv při jejich uzavírání. Z toho vyplývá, že by případný Bernoulliho efekt byl spíše brzdou než hnacím jevem pohybu hlasivek. Výrazný vliv proudícího vzduchu nemůže mít spojitost se změnou frekvence hlasivek, která je jednoznačně definovaná parametry hlasivek, tzn. pružnými a hmotnostními charakteristikami, jejich strukturou a tvarem.

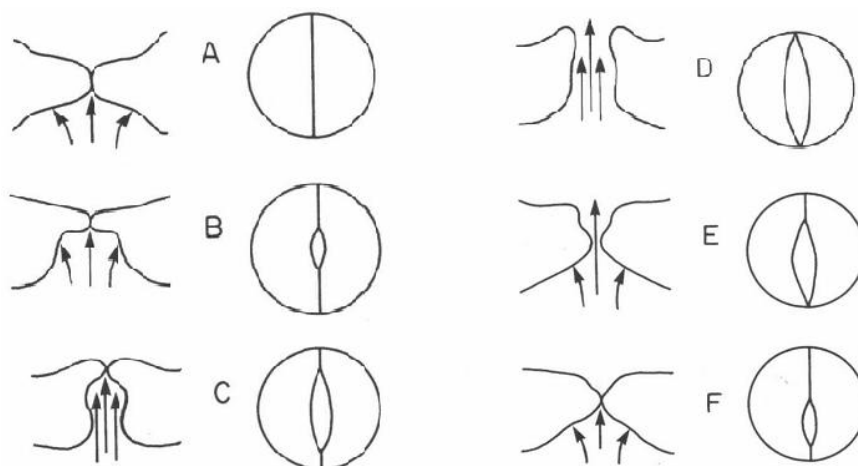
Teorie fonace: bubliny stlačeného vzduchu

Na základě řady výše zmíněných nejasností a nedostatků dosud definovaných principů různými autory byl definován a je dále vyvíjen na ÚMTMB FSI VUT Brno nový princip funkce hlasivek označovaný jako princip „bubliny tlakového vzduchu“ zkráceně princip „bubliny“.

Tlakové pulsy vznikají přerušováním vyššího subglotického tlaku v trachey vibrujícími hlasivkami a změna subglotického tlaku během periody vibrací je dána změnou mezery glotis. Tím dochází k vzájemné vazbě mezi změnou subglotického tlaku a změnou velikosti glotis. Proto je možné doplnit a rozšířit definici principu funkce hlasivek na: „princip bublinitlakového vzduchu generovaných na základě charakteristiky subglotického tlaku“. Bublinitlakového vzduchu jsou vypouštěny vibrujícími hlasivkami do supraglotického prostoru, kde expandují a generují akustické vlny, jež tvoří zdrojový hlas.

Hlavními silami, působícími na hlasivky při fonaci jsou subglotický tlak pod hlasivkami a v celé trachey. Tento přetlak působí na poměrně velkou vnitřní plochu subglotické oblasti hlasivek, takže poměrně značná síla rozevírání hlasivky. Dále zde působí pružné síly hlasivkových svalů, které působí proti rozevírání hlasivek a setrvačné síly hlasivek.

Charakteristikami zdrojového hlasu, které jsou při mluvení nahlas člověkem vědomě ovlivnitelné, jsou intenzita zdrojového hlasu, která je dána pouze střední hodnotou subglotického tlaku a výška základního tónu hlasu. Těmito dvěma parametry je zdrojový hlas dostatečně a zcela definován.



Obr. 12 Fáze pohybu hlasivek při jedné periodě fonace [3]

Důležité fáze fonace:

Pohyb hlasivek uvedený na obr. 12 startuje z tzv. fonační fáze, kdy jsou hlasivky u sebe – A, v první fázi je tlaková bublina vtlačována do prostoru mezi hlasivkami, což umožňuje rozevírání jejich spodní části – B, bublina dále postupuje směrem nahoru k vokálnímu traktu až začne fáze otevírání horní části hlasivek – C. Následně se hlasivky rozevřou a směrem nahoru dochází k vytlačování tlakové bubliny do supraglotického prostoru a dále do vokálního traktu – D, bublina expanduje a generuje se zdrojový hlas. Dále dochází k uzavření hlasivek v jejich spodní části – E, vzápětí nastává postupné

spojování hlasivek odspodu směrem nahoru – F. Nakonec se hlasivky dostávají zpět do původního fonačního postavení – A.

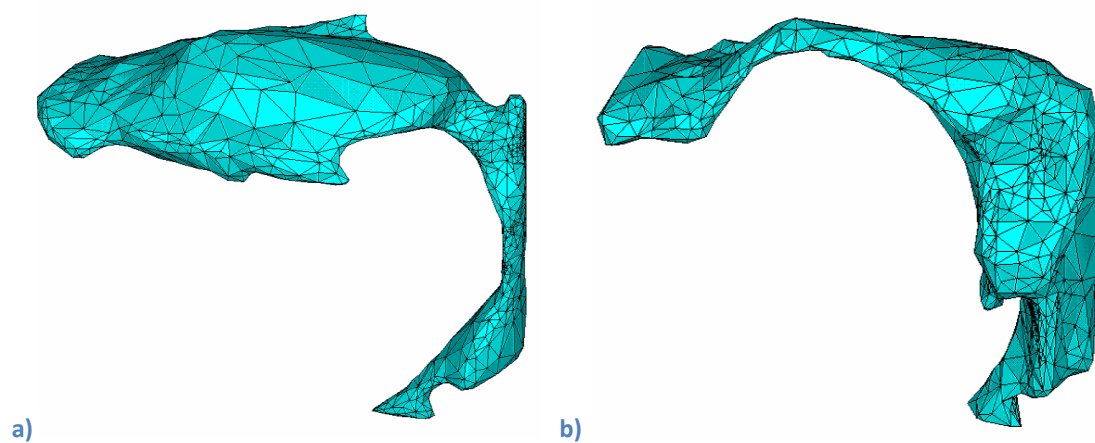
V tomto sledu je vytvořena vzduchová bublina a je převedena z subglotického prostoru do supraglotického.

Frekvence hlasivek je jednoznačně definována hmotně-pružnými vlastnostmi struktury hlasivek a jejich vrstev a nikoliv rychlostí proudění vzduchu. Základním předpokladem fonace je samobuzené kmitání hlasivkové struktury. Frekvence hlasivek je proto blízká nebo totožná některé vlastní frekvenci struktury hlasivek. Ne každý strukturní mód hlasivek je však schopný zajistit fonaci definovanou výše uvedeným principem. Tuto funkci bude nejspíš schopen zajistit některý vyšší tvar kmitu fonujících hlasivek. Podle použitého strukturního módu hlasivek při dané fonaci se zřejmě jedná o různé hlasové registry (modální – při spojování hlasivek a falseto – při jejich nespojování). Hnacím jevem hlasivek v subglotickém prostoru při jejich fonaci je tlakový vzduch, který je vždy vyšší než v prostoru supraglotickém. Důležitá je změna subglotického tlaku vzduchu během periody fonace. I když subglotický tlak v trachey se snaží plíce udržovat konstantní, v důsledku vibrací hlasivek a měnící se mezerou glotis, dochází k odpouštění vzduchu do supraglotického prostoru. Tím se hodnota subglotického tlaku mění v závislosti na velikosti mezery glotis. Tato závislost se nazývá „charakteristikou subglotického tlaku“ a je zásadní při fonaci. U tohoto principu jde proto o zásadně odlišný princip funkce hlasivek než který je prezentován ve světové literatuře.

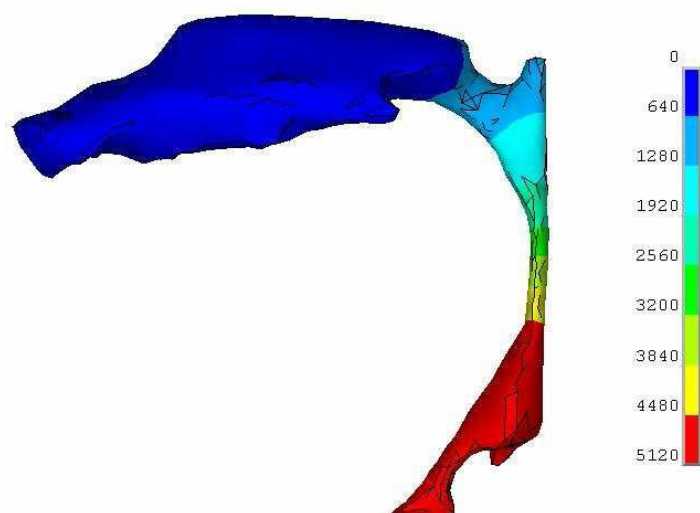
Experimentální výsledky dokazují, že pohyb vzduchu přes hlasivky lze definovat procházejícími bublinami stlačeného vzduchu ze subglotického do supraglotického prostoru. Vzduch procházející přes hlasivky je ve tvaru množin samostatných malých objemů – bublin stlačeného vzduchu (pulsů). Přítomnost bublin je nutnou podmínkou pro generování dostatečného počtu harmonických složek pro buzení formantů jednotlivých samohlásek. Bubliny v supraglotickém prostoru expandují a tím generují akustické vlny, jejichž celkové frekvenční složení definuje zdrojový hlas hlasivky. Hlasivky při fonaci vykonávají jeden ze strukturních módů, přičemž jeho vlastní frekvence definuje základní frekvenci zdrojového hlasu. Tento speciální tvar módu hlasivek umožňuje vytvarovat z časově téměř sinusového průběhu subglotického tlaku speciální periodický průběh supraglotického tlaku, který vedle základní frekvenční složky zdrojového hlasu vygeneruje také dostatečný počet vyšších harmonických. Počet vyšších harmonických složek k základnímu hlasu je dostatečný, pokud umožňuje vybuzení alespoň tří nejnižších formantů používaných samohlásek. Celkový subglotický tlak vzduchu se při fonaci skládá z konstantní složky a střídavé složky v důsledku otevírání a zavírání hlasivek, tzn. expanzí a odpouštěním částí vzduchu (bublin) do supraglotické oblasti.

MKP modely hlasivek a vokálního traktu

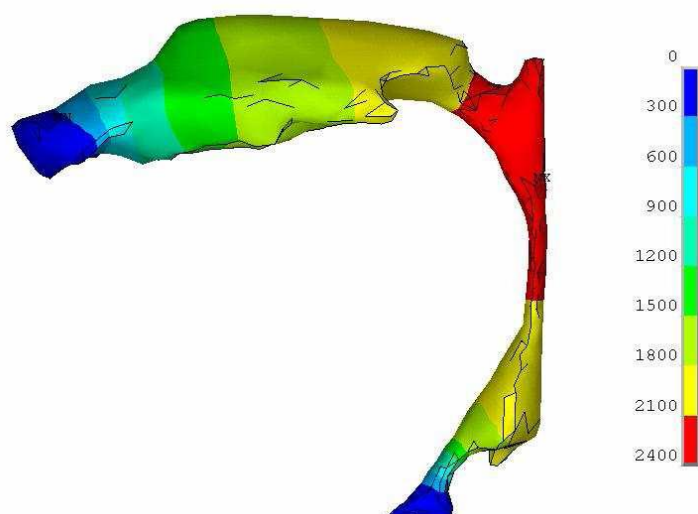
Pro analýzu hlasivek a vokálního traktu se používají v rámci ústavu ÚMTMB FSI VUT Brno výpočetní softwaru ANSYS a SYSNOISE. V této kapitole budou uvedeny konečno-prvkové modely vokálního traktu a hlasivek, které byly vytvářeny v 3-D softwaru a analýza byla provedena v MKP softwaru ANSYS.



Obr. 13 MKP model vokálního traktu při artikulaci samohlásky[1]: a) A
b) I

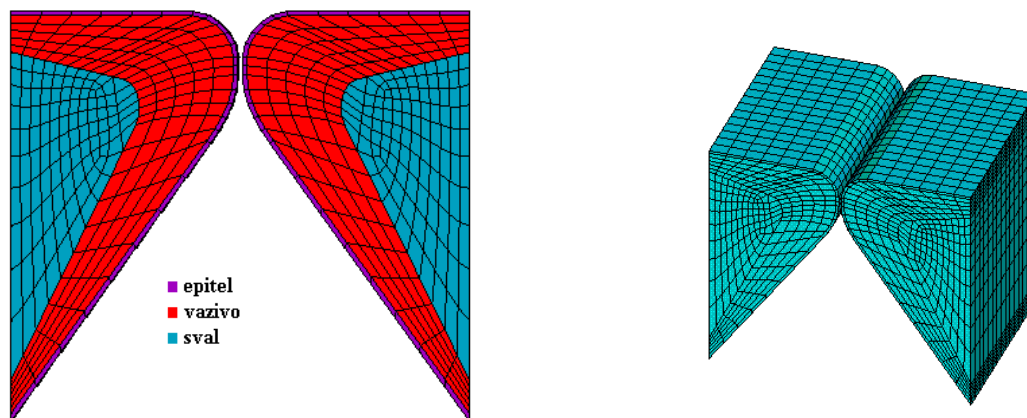


Obr. 14 Průběh akustického tlaku 1. vlastního tvaru pro samohlásku A – nahlas [1]

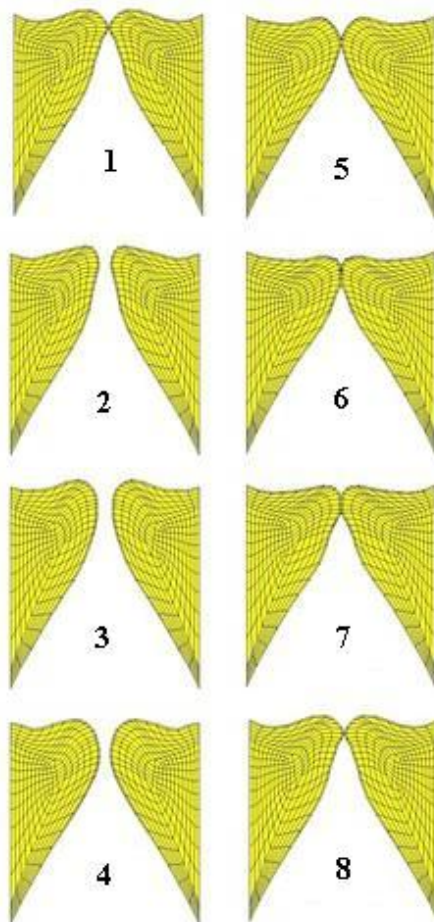


Obr. 15 Průběh akustického tlaku 1. vlastního tvaru pro samohlásku A – šeptem [1]

Při mluvení „nahlas“ jsou hlasivky uzavřené a proto při 1. vlastním tvaru je maximum akustického tlaku v oblasti hlasivek (obr.14). Při mluvení „šeptem“ jsou hlasivky pootevřené (obr.15) a tak je předepsán nulový tlak jako okrajová podmínka v oblasti hlasivek. Stejně tak v obou případech je nastavena okrajová podmínka nulového tlaku v oblasti úst z důvodu otevřených úst.



Obr. 16 Třívrstvý model hlasivek[2]



Obr. 17 Simulace fází pohybu hlasivek pomocí MKP[2]

Použitá literatura:

- [1] - MATUG, M., *Analýza formantů českých samohlásek generovaných nahlas a šeptem*, diplomová práce, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008.
- [2] - HRŮZA, V., *Modelování funkce hlasivek pomocí MKP*, dizertační práce, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007.
- [3] – Mišun V., *Vibrace a hluk*, skripta VUT Brno, 2005