

Podklady k hodnocení proudění vzduchu v KC-Zlín (pracovní verze)

Obsah

Podklady k hodnocení proudění vzduchu v KC-Zlín (pracovní verze).....	1
Úvod a cíl projektu.....	3
Smysl měření proudění v koncertním prostředí.....	3
Propojení fyziky, psychologie a architektury.....	4
Cíle a očekávané výstupy projektu.....	4
1 Přehled měření a použité zařízení.....	5
1.1 Protokoly dosavadních měření.....	5
1.2 Použitý přístroj.....	5
1.3 Rozmístění měřicích míst.....	6
1.4 Plán rekaliibrace a validace.....	6
2 Fyzikální vrstva – měřitelné veličiny a jejich působení.....	6
2.1 Směr a rychlost proudění.....	7
2.2 Teplota, relativní vlhkost a turbulence.....	7
2.3 Mikrovrstva ohřátého vzduchu („tepelný film“).....	7
2.4 Energetická bilance těla a ztráty konvekce.....	7
2.5 Shrnutí fyzikálních faktorů.....	8
3 Percepční vrstva – model pocitového diskomfortu (PPI).....	8
3.1 Definice indexu PPI a jeho význam.....	8
3.2 Statický model PPI – závislost na rychlosti a teplotě.....	8
3.3 Dynamický model PPI – vliv kolísání rychlosti.....	9
3.4 Parametry modelu PPI.....	9
3.5 Interpretace hodnot PPI (0–1).....	9
3.6 Vliv a citlivost jednotlivých parametrů.....	10
3.7 Doporučení pro ladění modelu, jak „zmírnit přísnost“ výsledku (24 °C).....	10
3.8 Shrnutí vztahů.....	10
4 Kontextová vrstva – empirická pozorování a provozní praxe.....	10
4.1 Reálné poznatky z orchestrů.....	11
4.2 Interní pravidla koncertních institucí.....	11
4.3 Fyziologické a psychologické faktory rozdílů.....	11
4.4 Vnímaný efekt při 21 °C.....	12
4.5 Srovnání vnímání podle teploty a pohlaví.....	12
4.6 Vliv turbulencí na diskomfort.....	12
4.7 Návrh možné normalizace dat (pro grafy).....	13
5 Metodika experimentu a kalibrace.....	13
5.1 Cíl a postup měření.....	13
5.2 Použité přístroje a jejich parametry.....	14
5.3 Organizace měření v prostorách pódia.....	14
5.4 Systém „tlačítek“ – subjektivní zpětná vazba hudebníků.....	14
5.5 Kombinace objektivního a subjektivního hodnocení.....	15
5.6 Kalibrace modelu PPI na reálná data.....	15
5.7 Rozšíření systému – automatická signalizace a organizační řízení.....	15
6 Vyhodnocení výsledků měření.....	15
6.1 Zatímní poznatky (stav k 28. 10. 2025).....	15
6.2 Předběžné interpretace.....	16
6.3 Možnosti vizualizace PPI v čase.....	16

6.4 Návrh dalšího postupu měření.....	16
7 Závěr a další směr výzkumu.....	16
7.2 Možnosti aplikace metodiky v praxi.....	17
7.3 Náměty pro další vývoj.....	17
Poděkování.....	18
Přílohy.....	19

Úvod a cíl projektu

Proudění vzduchu v koncertních sálech je téma, které se na první pohled zdá technické.

Ve skutečnosti má však zásadní vliv na kvalitu výkonu hudebníků, jejich soustředění i na celkový dojem z hudby.

Jemný vánek, který by v kanceláři působil příjemně, může na pódiu způsobit ztrátu citu v prstech, rozladění nástrojů nebo prosté rozptýlení pozornosti.

Za velmi podstatné – až zásadní – považuji, pokud se **pohodlí hudebníků neřeší nebo bagatelizuje**. Takový přístup má přímý vliv na atmosféru v kolektivu i na kvalitu výkonu. Pocit komfortu a respektu se totiž v hudebním souboru přenáší rychleji než jakýkoli pokyn dirigenta.

Cílem tohoto projektu je vytvořit **praktickou metodiku**, která propojuje tři roviny:

1. **Fyzikální vrstvu** – popis měřitelných veličin (rychlost, směr, teplota, vlhkost, turbulence).
2. **Percepční vrstvu** – model subjektivního vnímání průvanu (PPI, *Perceived Draft Index*).
3. **Kontextovou vrstvu** – empirická pozorování z reálného provozu orchestrů a koncertních sálů.

Tyto tři vrstvy dohromady umožňují přiblížit technické parametry k lidskému vnímání.

Záměrem není jen změřit, „kolik vzduchu proudí“, ale **porozumět, kdy a proč se proudění stává rušivým**.

K měření používáme běžný anemometr, který bude později recalibrován vůči profesionálnímu přístroji. Současně testujeme možnost sběru subjektivních reakcí hudebníků pomocí jednoduchých tlačítek, která umožní propojit fyzikální data s okamžiky, kdy hráči pocítili změnu komfortu.

Tento přístup by měl do budoucna umožnit:

- zpřesnit regulaci klimatizace přímo podle pocitového modelu,
- automaticky upozornit techniky na vznikající nepohodu,
- vytvořit databázi empirických hodnot, z níž půjde odvodit doporučené limity pro různé typy sálů a teplotní podmínky.

Projekt je v pracovní fázi.

První měření slouží k nalezení vhodné metodiky, ověření vztahu mezi naměřenými veličinami a pocitovou odezvou hudebníků.

Cílem je vyvinout systém, který bude schopen **převádět subjektivní pocity diskomfortu do objektivně měřitelných parametrů** – a tím vytvořit most mezi světem fyziky a světem hudby.

Smysl měření proudění v koncertním prostředí

V koncertním sále je proudění vzduchu jedním z nejcitlivějších, a přitom nejméně sledovaných faktorů kvality prostředí.

Zatímco akustika sálu bývá precizně měřena a optimalizována, mikroklima – zejména lokální proudění v prostoru orchestru – zůstává často mimo pozornost.

Hudebník však tráví na pódiu desítky minut v téměř nehybném postoji, s vysokou soustředěností a jemnou motorikou.

Jakýkoli lokální průvan zde působí výrazněji než v běžném interiéru, a to nejen fyzicky, ale i psychologicky.

I velmi malé proudění (např. 0,15–0,20 m/s) může vyvolat ztrátu tepelného komfortu, pocit chladu na ruce nebo rtech, případně i změnu ladění nástroje.

Pro provozní personál jde o nepatrnou veličinu, ale pro hudebníky o zásadní rušivý prvek.

Smyslem měření proto není hledat ideální „bezvětrí“, ale **najít hranici, kdy proudění přestává být vnímané jako příjemné a začíná ovlivňovat výkon.**

Výsledky by měly pomoci:

- přesněji nastavovat ventilaci během zkoušek a koncertů,
- objektivně argumentovat při řešení stížností na průvan,
- a přispět k lepšímu pochopení vztahu mezi fyzikální realitou a subjektivním komfortem hudebníků.

Propojení fyziky, psychologie a architektury

Proudění vzduchu je fenomén, který spojuje tři na první pohled vzdálené světy — **fyziku, psychologii a architekturu.**

Každý z nich zachycuje jiný aspekt téhož jevu, a teprve jejich propojením lze pochopit, proč se stejné proudění může v jednom kontextu jevit jako osvěžující, a v jiném jako rušivé.

- **Fyzikální vrstva** popisuje měřitelné parametry: rychlost, směr, teplotu, vlhkost a jejich fluktuace.
Umožňuje určit, co se skutečně děje v prostoru — jak se vzduch pohybuje, odkud proudí a jak ovlivňuje přenos tepla z těla.
- **Percepční vrstva** představuje způsob, jak tyto fyzikální jevy vnímá člověk.
Stejná rychlost proudění může být buď příjemným vánkem, nebo nepříjemným „táhne“. Rozhodující je kontext – teplota, poloha těla, oděv, typ činnosti, i samotná očekávání. Zde se uplatňuje index PPI (*Perceived Draft Index*), který převádí fyzikální veličiny do pocitové škály.
- **Kontextová vrstva** propojuje měření s reálným prostředím a provozní praxí.
Ukazuje, jak se proudění projevuje v konkrétních situacích – v orchestru, v jámě divadla nebo ve studiu.
Teprve zde se poznatky stávají prakticky použitelnými: pro techniky, architekty i hudebníky.

Projekt tak usiluje o vytvoření **společného jazyka mezi měřením a vnímáním.**

Chce ukázat, že technické parametry mohou být přeloženy do srozumitelných hodnot lidského komfortu – a že komfort hudebníků je stejně důležitou součástí kvality koncertního sálu jako jeho akustika.

Cíle a očekávané výstupy projektu

Hlavním cílem projektu je **vytvořit metodiku hodnocení proudění vzduchu v koncertním prostředí**, která dokáže převést fyzikální měření do jazyka srozumitelného pro hudebníky i techniky.

Metodika má umožnit, aby bylo možné **kvantitativně vyjádřit pocitový diskomfort** a tím zpřesnit řízení vnitřního klimatu během zkoušek a koncertů.

Konkrétní cíle lze rozdělit do tří oblastí:

1. Měření a modelování

- stanovit postup měření rychlosti, směru a teploty vzduchu na pódiu,
- vytvořit sadu základních parametrů (v , T , dv/dt , RH) pro výpočet indexu PPI,
- definovat vztah mezi reálnou rychlostí a subjektivním vnímáním průvanu.

2. Propojení s percepcí hudebníků

- využít jednoduchá „tlačítka“ k zaznamenání momentů změny komfortu,
- kalibrovat model PPI podle empirických reakcí hudebníků,
- ověřit možnost predikce nepohody na základě fyzikálních dat.

3. Aplikace a rozšíření

- vytvořit grafické zobrazení indexu PPI v čase (např. během koncertu),
- navrhnout systém automatického upozornění technikům při překročení limitů,
- vytvořit otevřenou databázi výsledků jako podklad pro architektky a akustiky.

Očekávaným výstupem není pouze soubor dat, ale **funkční rámec pro interpretaci komfortu** – takový, který umožní, aby rozhodování o provozu klimatizace, větrání a rozložení trysek vycházelo nejen z technických předpisů, ale i z reálného lidského prožitku.

1 Přehled měření a použité zařízení

Měření proudění vzduchu byla zahájena jako orientační etapa s cílem ověřit, jaké fyzikální veličiny mají pro pocitový komfort hudebníků největší význam.

Primárním úkolem této fáze není sběr exaktních dat, ale **nalezení vhodné metodiky** – tedy způsobu, jak měřit, kdy měřit a jak výsledky interpretovat.

1.1 Protokoly dosavadních měření

Měření probíhala v několika termínech přímo na pódiu Koncertního sálu ve Zlíně.

Každý záznam obsahuje čas, místo měření, kvalitu záznamu a poznámku k provozní situaci.

Data jsou zatím orientační, slouží ke srovnání jednotlivých poloh a k pochopení proměnlivosti proudění během koncertu.

Název	Místo měření, situace, ...	Kvalita	Poznámka
2025/10/26 13:54	Na pultu	Orientační	
2025/10/26 15:47	Na pultu	Orientační	
2025/10/27 10:32	...	Orientační	
2025/10/27 11:34	...	Orientační	

V dalších etapách bude provedeno i **rekalibrované měření** s profesionálním anemometrem a následné porovnání dat, což umožní korigovat odchylky způsobené použitím běžného měřidla.

1.2 Použitý přístroj

Měření je realizováno ručním **anemometrem CEM DT-72H**, který umožňuje současně sledovat rychlost proudění, teplotu a relativní vlhkost vzduchu.

Přestože přístroj není laboratorně kalibrovaný, jeho rozlišení (0,01 m/s) je pro účely srovnávací analýzy plně dostačující.

Technické parametry:

- Rozsah měření: rychlost 0,00–30,00 m/s, teplota –20 až +60 °C, vlhkost 0–100 % RH
- Rozlišení: 0,01 m/s, 0,1 °C, 0,1 % RH
- Jednotky: m/s, °C, %RH

Přístroj je používán ve stacionární poloze, měření probíhá po celou dobu vystoupení na jednom místě.

Výsledky jsou průběžně zaznamenávány a analyzovány pomocí softwaru pro výpočet indexu PPI.

1.3 Rozmístění měřicích míst

Měřicí body byly umístěny v několika zónách pódia, které reprezentují různé mikroklimatické podmínky:

1. **Tři různá místa** – v prostoru pódia mezi muzikanty.
2. **Centrální zóna** – neutrální místo uprostřed pódia.
3. **Ventilační otvory** – v první a druhé řadě odspodu (celkem čtyři body).
4. **Referenční měření** – uprostřed pódia, paralelně s profesionálním anemometrem.

Všechna měření probíhají současně během vystoupení, což umožní později spárovat změny proudění se subjektivními reakcemi hudebníků.

1.4 Plán recalibrace a validace

Po ověření metodiky budou všechna orientační měření **rekalibrována** porovnáním hodnot z běžného anemometru s profesionálním přístrojem.

Cílem není dosáhnout laboratorní přesnosti, ale **určit přepočtový faktor**, který zajistí konzistenci dat mezi měřeními a vnímáním.

Validace bude probíhat ve třech krocích:

1. porovnání časových průběhů rychlosti a teploty mezi oběma přístroji,
2. určení korekčních konstant pro různé teplotní režimy,
3. opakované ověření při kontrolních měřeních po úpravě ventilace.

Takto vytvořený rámec poskytne základ pro další vrstvy – fyzikální, percepční a kontextovou – a umožní začlenit pocitové reakce hudebníků do objektivně měřitelné soustavy.

2 Fyzikální vrstva – měřitelné veličiny a jejich působení

Fyzikální vrstva představuje základní úroveň analýzy – popisuje samotné chování vzduchu a jeho působení na lidské tělo.

Zatímco další vrstvy (percepční a kontextová) přidávají subjektivní a empirické korekce, fyzikální vrstva poskytuje **měřitelný rámec**, bez něhož by nebylo možné pozdější interpretace ukotvit.

2.1 Směr a rychlost proudění

Rychlost proudění vzduchu je základní veličinou.

Z fyzikálního hlediska určuje množství kinetické energie, které vzduch přenáší na povrch těla, a tím i míru konvekčního ochlazování.

Rozhodující však není jen velikost rychlosti, ale i **směr** – proud vzduchu dopadající přímo na obličej, ruce nebo šíji je subjektivně mnohem rušivější než proud boční či rozptýlený.

Faktor	Důvod vlivu	Měřítko
Směr proudění (α)	Přímý zásah do exponovaných oblastí (obličej, ruce) zvyšuje pocit chladu.	$\pm 180^\circ$ vůči ose těla
Rychlost proudění (v)	Vyšší rychlost zvyšuje přenos tepla konvekcí.	m/s

2.2 Teplota, relativní vlhkost a turbulence

Tyto veličiny určují, jak je proudění vnímáno.

Proud vzduchu o stejné rychlosti může být při 25 °C osvěžující, zatímco při 18 °C nepříjemný až rušivý.

Podobně nízká relativní vlhkost zvyšuje pocit „suchého“ proudění.

Z fyzikálního hlediska hraje významnou roli i **turbulence** – rychlé kolísání rychlosti ($\Delta v/\Delta t$), které narušuje stabilní tepelný film kolem těla.

Faktor	Důvod vlivu	Měřítko
Teplota (T)	Vyšší teplota snižuje tepelný gradient mezi tělem a okolím.	°C
Relativní vlhkost (RH)	Nízká vlhkost zvyšuje odpařování z pokožky a sliznic.	%RH
Fluktuace rychlosti ($\Delta v/\Delta t$)	Náhlé změny proudění způsobují pocity nárazů a „průvanu“.	m/s ²

2.3 Mikrovrstva ohřátého vzduchu („tepelný film“)

Kolem lidského těla vzniká při klidném vzduchu tenká **izolační vrstva** – tzv. tepelný film.

Tato mikrovrstva má tloušťku přibližně 5–10 mm a udržuje stabilní mikroklima těsně u pokožky.

Jakmile se však vzduch začne pohybovat, dochází k jejímu „odplavení“ – teplý vzduch je nahrazen chladnějším, což zvyšuje přenos tepla z těla do okolí.

Subjektivně se to projeví jako náhlý chladivý dotek, i když teplota vzduchu zůstává stejná.

Tento efekt je klíčový pro pochopení, proč **malé rozdíly v rychlosti** (např. 0,10 → 0,20 m/s) mohou vyvolat silnou změnu vnímání.

V podmínkách koncertního sálu tak vzniká paradox: proudění, které je z hlediska větrání zanedbatelné, může být z hlediska člověka dominantním rušivým faktorem.

2.4 Energetická bilance těla a ztráty konvekcí

Proudění vzduchu působí na tělo jako **tok energie**, který určuje rychlost odvádění tepla z povrchu pokožky.

Konvekční ztráty rostou přibližně lineárně s rychlostí proudění až do hodnot kolem 0,5 m/s, poté se účinek postupně saturuje.

Turbulence a směrové výkyvy tento proces výrazně zrychlují, protože narušují rovnováhu mezi tělem a okolním vzduchem.

2.5 Shrnutí fyzikálních faktorů

Faktor	Popis účinku	Typ vlivu na komfort	Poznámka
Rychlost proudění (v)	Zvyšuje přenos tepla z těla	negativní	hlavní veličina diskomfortu
Směr proudění (α)	Přímý zásah → silnější vjem	negativní	obličej, ruce, šíje
Teplota (T)	Vyšší T → vyšší tolerance	pozitivní	snižuje vnímaný chlad
Relativní vlhkost (RH)	Nízká RH → pocit sucha	negativní	ovlivňuje rty a sliznice
Turbulence ($\Delta v / \Delta t$)	Rychlé výkyvy → „nárazy“	negativní	rušivý dojem i při malé v
Tepelný film	Při klidu chrání tělo	pozitivní	ztrácí se už při $v \approx 0.15$ m/s

Fyzikální vrstva tedy představuje první krok: určuje **objektivní podmínky prostředí**, které lze měřit.

Následující kapitola – *Percepční vrstva* – tyto podmínky převádí do roviny lidského vnímání prostřednictvím modelu PPI, jenž umožňuje kvantifikovat, kdy se fyzikální jev stává psychologickým problémem.

3 Percepční vrstva – model pocitového diskomfortu (PPI)

Hudebník není senzor – jeho vnímání prostředí je komplexní a proměnlivé.

Reaguje nejen na fyzikální podněty, ale i na fázi výkonu, soustředění, typ nástroje a teplotu těla.

Zatímco fyzikální vrstva popisuje objektivní podmínky, **percepční vrstva** překládá tyto veličiny do pocitového jazyka – ukazuje, kdy a proč se proudění stává nepříjemným.

Základním nástrojem této vrstvy je **index PPI (Perceived Draft Index)** – model, který umožňuje numericky vyjádřit subjektivní diskomfort způsobený prouděním vzduchu.

3.1 Definice indexu PPI a jeho význam

Index PPI převádí fyzikální parametry prostředí (rychlost, teplotu, fluktuace) na škálu **0–1**, kde 0 znamená naprostý komfort a 1 označuje výrazný pocit nepohody („průvan“).

PPI je tedy *mostem mezi měřením a pocitem*.

Jeho účelem není nahradit subjektivní vnímání, ale **dát mu konzistentní číselnou strukturu**, aby bylo možné porovnávat různé situace, teploty či prostory.

3.2 Statický model PPI – závislost na rychlosti a teplotě

Základní tvar modelu lze vyjádřit jednoduše:

$$PPI = k_s \cdot k_T \cdot \frac{v}{v_{ref}}$$

kde

v – aktuální rychlost vzduchu [m/s],

v_{ref} – referenční citlivost orchestru (≈ 0.18 m/s),

k_s – citlivost podle pohlaví (1.0 muži / 1.3 ženy),

k_T – teplotní korekce (0.8 pro 24 °C / 1.0 pro 22 °C / 1.2 pro 20 °C).

Tento model představuje **statickou verzi**, vhodnou pro stabilní prostředí bez výrazných změn proudění.

Interpretace:

- **PPI < 0.3** → komfortní zóna,
- **0.3 – 0.6** → zvýšená pozornost („něco táhne“),
- **> 0.6** → rušivý až nepříjemný stav.

3.3 Dynamický model PPI – vliv kolísání rychlosti

Pro zachycení poryvů a turbulence je nutné doplnit model o dynamickou složku:

$$PPI_{dyn} = k_S \cdot k_T \cdot \left(\frac{v}{v_{ref}} + \beta \cdot \frac{dv/dt}{a_{ref}} \right)$$

kde

$\beta \approx 0.3 - 0.5$ je váhový koeficient citlivosti na změny,
 $a_{ref} \approx 0.05 \text{ m/s}^2$ je referenční gradient rychlosti.

Dynamický model zvyšuje hodnotu PPI i při malém průměrném proudění, pokud se rychlost vzduchu prudce mění.

To odpovídá reálnému pocitu, kdy nárazové proudy působí rušivěji než stabilní vánek stejné intenzity.

3.4 Parametry modelu PPI

Symbol	Popis	Směr vlivu	Poznámka
v	okamžitá rychlost vzduchu [m/s]	↑	hlavní zdroj ochlazení
T	teplota vzduchu [°C]	↓	vyšší teplota zmírňuje účinek
dv/dt	kolísání rychlosti (turbulence)	↑	zvyšuje pocit nárazů
α	úhel dopadu proudění	↑	přímý zásah více ruší
C	kontext (hra/pauza, pohlaví, fáze výkonu)	±	modifikuje výsledek
k_S	citlivost (muži/ženy)	↑	přísnější při vyšší hodnotě
k_T	teplotní korekce	↓	chladné prostředí = přísnější hodnocení
v_{ref}	referenční rychlost	—	kalibrace systému
β	váha dynamiky (nárazovost)	↑	určuje vliv turbulence
a_{ref}	referenční gradient	—	nastavuje rozsah pro dv/dt

3.5 Interpretace hodnot PPI (0–1)

PPI	Pocitový stav (cca 24 °C)	Popis reakcí
0.0–0.2	Neznatelné proudění	žádný pohyb vzduchu, plný komfort
0.3–0.4	Mírný vánek	příjemné, neutrální vnímání
0.5–0.6	Začátek diskomfortu	lehký průvan, pohyb vlasů/not
0.7–0.8	Rušivé proudění	chlad na rukách, ztráta soustředění
0.9–1.0	Výrazně nepříjemné	potřeba se krýt, stížnosti

Typické prahové hodnoty:

- **PPI ≈ 0.6–0.7** – moment, kdy většina hudebníků začne reagovat.
- **PPI > 0.8** – prostředí je rušivé a vyžaduje zásah technika.

3.6 Vliv a citlivost jednotlivých parametrů

Parametr	Rozsah	Zvýšení → efekt	Snížení → efekt
k_S	1.0–1.3	přísnější vnímání	mírnější vjem
k_T	0.8–1.2	přísnější v chladu	tolerantnější v teple
v_{ref}	0.18 m/s	nižší → přísnější	vyšší → mírnější
β	0.3–0.5	silnější reakce na poryvy	menší vliv turbulence
a_{ref}	0.05 m/s ²	menší → přísnější	větší → hladší výsledek

3.7 Doporučení pro ladění modelu, jak „zmírnit přísnost“ výsledku (24 °C)

Cíl	Doporučená úprava	Efekt
Zmírnit výsledek pro 24 °C (větší tolerance)	zvýšit v_{ref} z 0.18 → 0.22 m/s	posune hranici nepříjemnosti o ~20 % výš
Zmenšit vliv krátkých poryvů	snížit β z 0.4 → 0.25	zklidní odezvu na turbulence
Změkčit obecně	snížit k_S na 1.1 i pro ženy	menší rozdíl mezi skupinami
Zachovat trend, ale hladší průběh	zvětšit „Derivační okno“ z 2 → 3 s	filtruje drobné výkyvy, méně „zubatý“ PPI

Pro běžné podmínky koncertního sálu (≈ 24 °C, průměrné turbulence) se doporučuje:

- $k_S=1.2$
- $k_T=0.8$
- $v_{ref}=0.22\text{m/s}$
- $\beta=0.25$
- $a_{ref}=0.05\text{m/s}^2$

Tento kompromisní soubor parametrů poskytuje realistické výsledky:

při rychlosti $v \approx 0.25\text{m/s}$ vychází **PPI $\approx 0.4\text{--}0.5$** , tedy ještě přijatelný komfort.

3.8 Shrnutí vztahů

- v_{ref} a β jsou hlavní „citlivostní knoflíky“ systému.
- k_T reaguje automaticky na teplotu.
- k_S vymezuje rozdíly mezi skupinami hudebníků.
- a_{ref} ovlivňuje spíše charakter křivky než výsledek.

Percepční vrstva tedy transformuje měření na **vjemovou mapu** – umožňuje nejen hodnotit, ale i předvídat, kdy se prostředí začne jevit jako nepříjemné.

Následující kapitola rozšíří tento rámec o **kontext reálného prostředí orchestru**, kde se teorie střetává s praxí.

4 Kontextová vrstva – empirická pozorování a provozní praxe

Kontextová vrstva propojuje měření a model s reálným světem hudebníků.

Zahrnuje empirické poznatky, fyziologické rozdíly a provozní zkušenosti z koncertních sálů.

Jejím cílem je **zlidštit čísla** – přeložit model PPI do prostředí orchestru, kde se komfort stává součástí výkonu.

4.1 Reálné poznatky z orchestrů

Pozorování z orchestrálních praxí (Zlín, Vídeň, Berlín aj.) ukazují, že **hranice vnímané nepohody** se výrazně liší mezi jednotlivými hudebníky i sekcemi.

Rozhodují zejména faktory: pohlaví, typ nástroje, oděv, poloha vůči výdechům ventilace a teplota okolí.

Kontext	Teplota [°C]	Limitní vnímaná rychlost [m/s]	Popis pocitu
Ženy (smyčce, flétny, harfy)	21–22	0.10–0.15	již slabý vánek ruší ruce a prsty, suché rty
Muži (žestě, bicí, fagoty)	21–22	0.15–0.25	vyšší tolerance, částečná ochrana nástrojem
Celý orchestr – průměr	21–22	0.18–0.22	začátek subjektivního vjemu „něco táhne“
Pod 20 °C	—	<0.15	i slabý pohyb vzduchu rušivý
Nad 25 °C	—	0.3–0.4	proudění vítáno, osvěžující účinek

Tyto hodnoty potvrzují, že i **malé rychlosti (0.12–0.18 m/s)** mohou způsobit diskomfort, zejména u žen a nástrojů vyžadujících jemnou motoriku.

4.2 Interní pravidla koncertních institucí

Některé významné orchestry mají přísně stanovené limity proudění.

Např. **Berlínská filharmonie** a **Vídeňský Musikverein** udávají vnitřní směrnici:

„Maximální průměrná rychlost proudění v zóně muzikantů nesmí přesáhnout **0.15 m/s** při teplotě 21 °C.“

Tato hranice nevznikla normativně, ale empiricky — jako výsledek desítek let pozorování a stížností hudebníků.

Při vyšších rychlostech se objevuje nejen pocit průvanu, ale i drobné změny ladění dřevěných dechových nástrojů, což ovlivňuje celý orchestrální zvuk.

4.3 Fyziologické a psychologické faktory rozdílů

Faktor	Popis vlivu
Oblečení a izolace	Tenké textilie, odkrytá šíje a paže zvyšují citlivost na lokální ochlazení.
Plocha rukou a prstů	Smyčce a flétny vyžadují vysokou přesnost; i drobná změna teploty zhoršuje cit v prstech.
Vlhkost rtů a dechu	Proud vzduchu zvyšuje odpařování, což komplikuje hru na dechové nástroje.
Pocitové kontrasty	Po chvíli hry se tělo zahřeje, zatímco proud vzduchu zůstává chladný – vzniká „ledový prst“.
Sociální tolerance	Hudebnice častěji verbalizují diskomfort, proto jsou jejich data často přesnější.

Tyto rozdíly ukazují, že „objektivní“ hranice průvanu je vždy kulturně a situačně podmíněná. Pohodlí na pódiu je výsledkem **rovnováhy mezi fyzikou, fyziologií a sociální interakcí**.

4.4 Vnímaný efekt při 21 °C

Rychlost [m/s]	Vnímaný efekt
0.10	znatelné ochlazení rukou
0.15	rušivý, často komentovaný průvan
0.25	nepříjemný – „táhne“

Při 24 °C se citlivost snižuje asi o 25–30 %, což odpovídá posunu hranice nepohody o ~0.05–0.07 m/s výš.

Tento rozdíl odpovídá pozorování, že hudebníci při vyšší teplotě snášejí proudění lépe, ale nerovnoměrně: muži téměř nevnímají do 0.25 m/s, ženy již kolem 0.18–0.20 m/s.

4.5 Srovnání vnímání podle teploty a pohlaví

Teplota [°C]	Subjektivní účinek	Hranice rušivosti (muži)	Hranice rušivosti (ženy)
20	proudění vnímáno jako chladné, „táhne“ od 0.1 m/s	~0.15 m/s	~0.10–0.12 m/s
22	neutrální koncertní teplota	~0.18 m/s	~0.15 m/s
24	tepleji, proudění spíše osvěžuje	~0.25 m/s	~0.18–0.22 m/s
26	mírné osvěžení žádoucí	~0.30 m/s	~0.25 m/s

Každý stupeň nad 21 °C posouvá hranici rušivosti přibližně o **+0.02 m/s**.

Tento vztah lze použít jako praktické pravidlo při nastavování ventilace v různých teplotních režimech.

4.6 Vliv turbulencí na diskomfort

Turbulence – tedy rychlé výkyvy rychlosti (± 0.10 – 0.20 m/s během 0.5–2 s) – významně zvyšují pocit rušivosti i při stejné průměrné rychlosti.

Skupina	Turbulence ($\pm$ m/s)	Vnímaný pocit	Doporučení
Muži (24 °C, $v \approx 0.25$)	0.00	neutrální až příjemné	bez zásahu
	0.10	lehké poryvy, pohyb not	přesměrovat proud mimo obličej
	0.20	výrazně rušivé poryvy	snížit výtok, použít difuzory
Ženy (24 °C, $v \approx 0.25$)	0.00	lehký vánek, sušší rty	udržet $v \leq 0.20$ m/s
	0.10	rušivý pocit „táhne“, chlad na rukou	zvlhčit vzduch, upravit difuzi
	0.20	jasně nepříjemné proudění	přesměrovat výdechy mimo zónu hráček

4.7 Návrh možné normalizace dat (pro grafy)

Aby bylo možné vizuálně srovnávat měření s pocity, lze převést rychlost vzduchu $v(t)$ na **škálu diskomfortu 0–1**, nezávislou na teplotě:

Index diskomfortu	Charakteristika
0.0	klidný vzduch, nevnímatelné proudění
0.2	lehké, ještě příjemné proudění
0.3	začátek rušivosti
0.4	zřetelný průvan
0.5	nepříjemné proudění
0.6	obtěžující až rušivé

Takto převedená data lze v grafech kombinovat s reakcemi hudebníků (např. stisky tlačítek) a sledovat, jak se fyzikální změny promítají do vnímání.

Kontextová vrstva tedy ukazuje, že **komfort je dynamický kompromis** mezi prostředím, tělem a činností.

Číselné veličiny získávají význam až tehdy, když se propojí s lidskou zkušeností.

5 Metodika experimentu a kalibrace

Metodika experimentu je mostem mezi teorií a praxí.

Navazuje na tři vrstvy modelu – fyzikální, percepční a kontextovou – a spojuje je v jeden ucelený proces měření, vyhodnocování a zpětné vazby.

Cílem je vytvořit systém, který dokáže **převést subjektivní pocity hudebníků do měřitelných dat** a současně umožní **kalibraci přístrojů podle lidského vnímání**.

5.1 Cíl a postup měření

Primárním cílem je:

1. ověřit vhodnost zvolených měřicích bodů,
2. určit citlivost modelu PPI na reálné změny proudění,
3. nalézt vztah mezi měřenými veličinami a okamžiky subjektivního diskomfortu.

Měření probíhá během zkoušek a koncertů, aby byly zachyceny přirozené změny proudění způsobené provozem klimatizace, pohybem lidí i tepelným zatížením prostoru.

Každé měření trvá po celou dobu vystoupení na jednom místě.

Pro získání prostorového obrazu budou postupně měřeny tři typické zóny:

- **centrální** (referenční) místo,
- **okrajové** zóny blízko výdechů,
- **vzdálené** zóny u stěn nebo orchestrálních bariér,
- ve **ventilačních otvorech**.

5.2 Použité přístroje a jejich parametry

Základní měření zajišťuje anemometr **CEM DT-72H** s funkcí záznamu teploty, vlhkosti a rychlosti proudění.

Pro ověření přesnosti bude použit také **profesionální anemometr** s kalibračním certifikátem, který poslouží k recalibraci běžného přístroje.

Technické parametry základního měření:

- Rozsah: 0,0–30,00 m/s
- Rozlišení: 0,01 m/s
- Teplotní rozsah: –20 až +60 °C
- Vlhkost: 0–100 % RH
- Jednotky: m/s, °C, %RH

5.3 Organizace měření v prostorách pódia

Každé měření je organizováno tak, aby neovlivňovalo činnost orchestru.

Měřicí zařízení je umístěno nenápadně na pultu nebo stativu, s co nejmenším dopadem na proudění vzduchu.

Osoba, která měření provádí, **nesleduje průběžné grafy**, aby nebyla ovlivněna znalostí dat – její úlohou je pouze sledovat prostředí a zaznamenávat subjektivní dojmy.

Prostorová konfigurace měřicích bodů:

1. tři různá místa v prostoru pódia mezi muzikanty
2. neutrální místo uprostřed pódia
3. ve ventilačních otvorech v první a druhé řadě odspodu, na obou stranách (celkem 4 místa)
4. jedno referenční měření profesionálním anemometrem uprostřed pódia
na stejném místě budeme provádět měření i naším anemometrem

5.4 Systém „tlačítek“ – subjektivní zpětná vazba hudebníků

Propojení fyzikálních dat s lidským vnímáním zajišťuje jednoduchý **systém tlačítek**, který hudebníkům umožňuje vyjádřit okamžik změny komfortu.

Princip:

- Každý účastník má na pultu malé tlačítko (nebo dotykový spínač).
- Stisk znamená „změnu pocitu“ – ať už k lepšímu, nebo k horšímu.
- Není nutná přesnost na sekundy; stačí rozmezí 2–3 minut.
- Důležité je zachytit shodu více reakcí ve stejném časovém intervalu.

Pokud se více hudebníků shodne v krátkém čase, lze událost považovat za **objektivní projev změny prostředí**.

Tento způsob kombinuje jednoduchost s vysokou vypovídací hodnotou – fyzikální data dostávají přímý lidský kontext.

5.5 Kombinace objektivního a subjektivního hodnocení

Zaznamenané stisky tlačítek budou spárovány s průběhem hodnot PPI v čase. Porovnáním obou datových sad lze určit:

- prahovou hodnotu PPI, při níž se hudebníci začínají ozývat,
- zpoždění mezi změnou proudění a její vnímáním,
- rozdíly mezi sekcemi orchestru.

Tento přístup umožní **kalibraci modelu PPI podle reálných reakcí**.

Cílem je, aby se měřicí systém postupně „učil“ – s každým koncertem bude přesnější.

5.6 Kalibrace modelu PPI na reálná data

Kalibrace probíhá ve dvou rovinách:

1. **Fyzikální korekce přístroje** – porovnání běžného a profesionálního anemometru.
2. **Percepční korekce modelu** – přizpůsobení parametrů (k_S , k_T , β , v_{ref}) podle reálných reakcí hudebníků.

Výsledkem je **autokalibrační systém**, který propojuje měření a vnímání.

Do budoucna tak nebude nutné klasické laboratorní serížení: model se bude ladit sám, na základě dat z praxe.

5.7 Rozšíření systému – automatická signalizace a organizační řízení

Jakmile bude model stabilní, lze jeho výstupy propojit s řízením ventilace:

- při překročení určité hodnoty PPI se automaticky odešle signál technikům,
- systém může předem upozorňovat na nutnost „pročištění vzduchu“ o přestávce,
- ventilace může být řízena prediktivně – dopředně i zpětně.

Tím se projekt posune z experimentální roviny do praxe:

získá charakter **živého, adaptivního systému**, který reaguje nejen na senzory, ale i na pocity lidí v prostoru.

Metodika tedy propojuje měření, vnímání a řízení – tři roviny, které dohromady tvoří základ budoucího inteligentního řízení komfortu v koncertních sálech.

Následující kapitola se zaměří na způsob **vyhodnocení výsledků** a možné vizualizace dat.

6 Vyhodnocení výsledků měření

Tato kapitola shrnuje první poznatky z probíhajícího měření a načrtává způsob, jak lze data interpretovat a převést do praktické podoby.

Vzhledem k tomu, že projekt je ve fázi ověřování metodiky, jde zatím o **předběžné hodnocení** – cílem je nalézt vztahy mezi čísly a reálným vnímáním hudebníků, nikoli prezentovat definitivní výsledky.

6.1 Zatímní poznatky

První měření probíhající během koncertů a zkoušek potvrdila očekávání, že děje související s prouděním vzduchu na pódiu jsou poměrně „členité“.

Rozhodl jsem se vytvořit tlačítka pro hudevníky k signalizaci jejich pocitů na pódiu.

... tato kapitola bude postupně doplňovaná.

6.2 Předběžné interpretace

To na čem pracujeme má určitě smysl. Projekt začíná být připraven pro měření.

... tato kapitola bude postupně doplňovaná.

6.3 Možnosti vizualizace PPI v čase

Pro interpretaci výsledků bude vhodné používat **časové grafy**, kde osa x představuje čas vystoupení a osa y hodnotu PPI (0–1).

Zaznamenané stisky tlačítek lze do grafu vkládat jako svislé značky (např. červené pro zhoršení, modré pro zlepšení).

Tím vznikne vizuální mapa, která umožní:

- identifikovat momenty shody mezi fyzikálním a subjektivním vjemem,
- vyhodnotit účinnost úprav ventilace,
- srovnat jednotlivé koncerty nebo konfigurace ventilace.

Doporučuje se také přidat **barevnou vrstvu turbulence** (např. odstíny žluté–červené), která ukáže okamžiky rychlých výkyvů rychlosti.

Takto lze intuitivně zobrazit, kdy se proudění mění z plynulého na rušivé.

6.4 Návrh dalšího postupu měření

Cílem je dosáhnout stavu, kdy bude možné říci:

„Při těchto hodnotách PPI lze očekávat stížnosti, při těchto je prostředí komfortní.“

Takto vznikne prakticky použitelný standard, který může sloužit i jiným kulturním institucím.

Zjistit zda metoda je životaschopná a že subjektivní i objektivní data se dají propojit.

Další kapitola shrne hlavní poznatky a naznačí, jakým směrem se může projekt dále vyvíjet.

Ukázat, že fyzikální a subjektivní svět nelze oddělit: to, co se dříve považovalo za „pocit“ či „náladu hráčů“, má reálné, měřitelné příčiny.