



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ TRAKTORŮ ANTI-NOISE PROTECTIVE AGENTS IN TRACTORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jiří Tulis

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Tulis

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Protihluková opatření traktorů

v anglickém jazyce:

Anti-noise Protective Agents in Tractors

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Perspektivní řešení do budoucna

Cíle bakalářské práce:

Vypracování přehledu protihlukových materiálů používaných u traktorů různých typů a značek.

Uvedení příkladů použití tlumicích materiálů.

Seznam odborné literatury:

[1] Bauer, František: Traktory, Praha 2006

[2] Internet

[3] Prospekty a propagační materiály výrobců traktorů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 25.11.2009

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty



ANOTACE

Předložená práce se zabývá problematikou vnějšího a vnitřního hluku traktoru a jeho útlumem. Obsahuje také přehled moderních protihlukových materiálů (izolací), používaných v automobilovém průmyslu, zvláště pak v moderních traktorech, k utlumení hluku v kabině a také utlumení hluku vystupujícího do okolního prostředí. Na závěr je obsažena i konkrétní studie, která obsahuje měření vnějšího a vnitřního hluku na několika traktorech a její vyhodnocení.

Klíčová slova: hluk v kabině, hluk traktoru, protihluková opatření

ANNOTATION

By the work deals with external and internal noise of tractor and its decline. It also contains an overview of modern anti-noise material (insulation), used in the automotive industry, especially in modern tractors to defusing the noise in the cabin and the stifling of noise acting in the environment. Finally, it included a specific study, which includes measuring external and internal noise on several tractors and evaluation.

Keywords: noise in the cabin, noise of tractor, anti-noise protective agents

Bibliografická citace mé práce:

TULIS, J. *Protihluková opatření traktorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 30 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

Jiří Tulis

V Brně dne 29. 5. 2010

.....

PODĚKOVÁNÍ:

Rád bych poděkoval všem společnostem a jejich zástupcům, kteří se mnou spolupracovali a poskytli mi cenné informace a rady. Velký dík patří také panu Ladislavovi Holečkovi, který mi umožnil řadu měření na traktorech firmy Agro Zvole, a.s. V neposlední řadě bych rád poděkoval panu ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a náměty k mé práci.



Obsah

1. Úvod.....	2
2. Historie a vývoj kabiny traktoru.....	3
2.1 Prvopočátky traktoru.....	3
2.2 Kabina traktoru.....	4
2.2.1 Vývoj kabin.....	4
2.3 Vývoj protihlukových opatření u kabin traktorů.....	6
3. Zdroje hluku v kabině traktoru.....	7
3.1 Hluk a jeho dopady.....	7
3.2 Hluk vyvíjený částmi traktoru.....	8
3.2.1 Hluk aerodynamický.....	8
3.2.2 Hluk vyvíjený motorem.....	8
3.2.3 Hluk vyvíjený kontaktem pneumatik s vozovkou.....	9
3.2 Hluk vyvíjený zapřaženými stroji.....	10
4. Požadavky na vlastnosti protihlukových materiálů.....	11
4.1 Požadavky na vlastnosti normalizované.....	11
4.2 Požadavky na vlastnosti nenormalizované.....	12
5. Základní druhy protihlukových materiálů (izolací).....	13
5.1 Základní rozdělení materiálů dle způsobu odhlučnění.....	13
5.2 Omezení vibrací – tlumení.....	13
5.2.1 Elastické nátěry.....	13
5.2.2 Asfaltózní hmoty.....	13
5.3 Omezení prostupu hluku.....	15
5.3.1 Pryže EPDM.....	15
5.4 Pohlcování hluku.....	16
5.4.1 Polyuretanové pěny.....	16
5.4.2 Melaminové pěny.....	17
5.4.3 Plstě a netkané textilie.....	18
5.4.4 Minerální a skelné vaty.....	19
5.5 Sendvičové (kombinované) materiály.....	19
6. Příklad provedení protihlukové izolace, vlastní měření.....	20
6.1 Příklady provedení protihlukové izolace.....	21
6.2 Vlastní měření.....	24
7. Závěr.....	27
8. Seznam použitých zdrojů.....	28
9. Seznam použitých zkratk.....	30
10. Seznam použitých symbolů.....	30

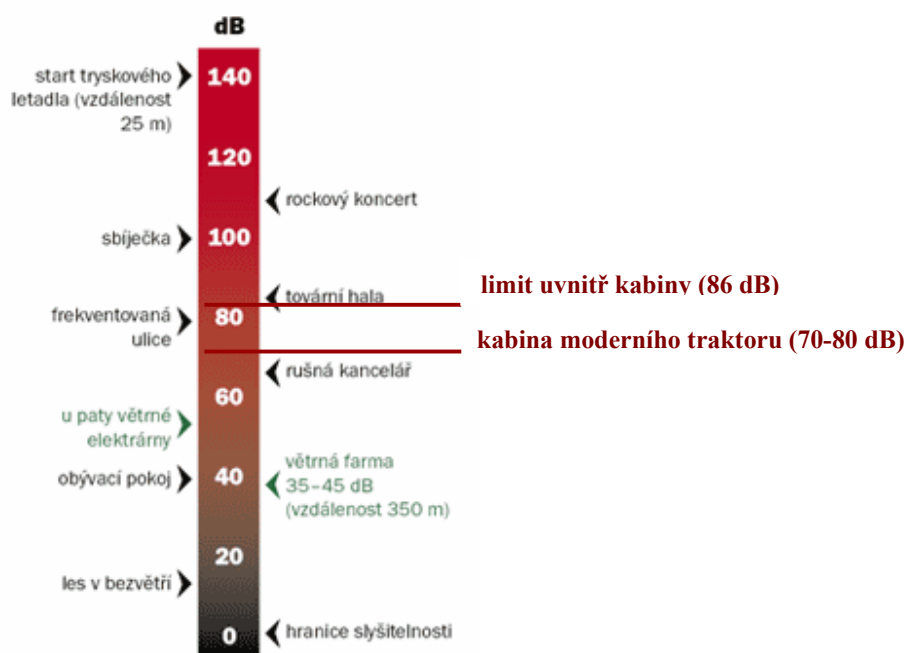


1. Úvod

Odstraňování nebo snižování nadměrného hluku při práci obsluhy traktoru je v obchodním zájmu jednotlivých výrobců traktorů. Jejich produkty totiž musí splňovat náročné normy o hluku, které mají za úkol chránit jednak řidiče traktoru a dále okolní prostředí při pracovních úkonech traktoru před nadměrným působením hluku. Zájem na co nejmenší hlukové zátěži pro obsluhu a okolí traktoru by měl mít i zaměstnavatel, protože čím bezpečnější a zdravější je pracovní prostředí pro traktoristu, tím nižší je pravděpodobnost ekonomicky nákladné pracovní neschopnosti z důvodu onemocnění, úrazů a nízké výkonnosti. V neposlední řadě musí moderní traktory splňovat nařízení ministerstva dopravy o hluku vozidel §52, předpis 102/1995 Sb., který výrobcům přikazuje podmínku o hluku, která říká že: vozidla, jejich motory, díly a všechna ústrojí, ve kterých dochází k pohybu částí, větrací a vytápěcí zařízení, sací a výfukové potrubí s tlumiči, výfuková odlehčovací brzda, brzdová zařízení, spojení nástavby s konstrukcí vozidla a vnitřní vybavení vozidla musí být konstruovány a provedeny tak, aby hluk vně i uvnitř vozidla byl co nejmenší. Z hlediska hladiny vnějšího hluku musí nová vozidla při schvalování jejich technické způsobilosti, při výrobě a při uvádění do provozu splňovat podmínky stanovené zvláštními předpisy. Hladina vnějšího hluku vozidel kategorií T, S a jednoúpravových traktorů s přívěsy nesmí přesahovat za podmínek měření, které stanovuje zvláštní předpis pro vozidla kategorií M a N, hodnotu

- 85 dB u vozidel s pohotovostní hmotností do 1,5 t,
- 89 dB u vozidel s pohotovostní hmotností převyšující 1,5 t. [5]

Z hlediska hluku uvnitř kabiny musí traktory splňovat maximální přípustnou hodnotu hluku 86 dB. Avšak hluk většiny moderních traktorů uvnitř kabiny se pohybuje při plném zatížení pod hranicí hodnoty 80 dB. Například firma John Deere uvádí ve svých katalozích pro traktory třídy 80-150 koni hodnotu hluku uvnitř kabiny 71 dB. Tato hodnota je v porovnání se staršími typy traktorů, používaných v zemědělství, velmi nízká a zdraví přípustná.



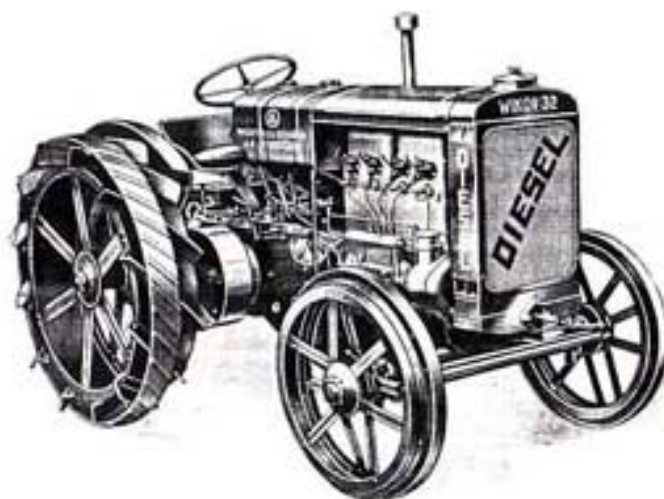
Obr.1 Přirovnání různých hladin hluku [31]



2. Historie a vývoj kabiny traktoru

2.1 Prvopočátky traktoru

V 19. století začali být v zemědělství využívány stacionární stroje, které pracovaly na parní pohon a přenos sil od nich na pracovní stroje byl realizován pomocí plochých řemenů nebo dlouhých lan. Po určité době byla realizována myšlenka opatřit tyto původně stacionární stroje koly nebo pásy, vlastním pohonem a díky tomu byli první předchůdci moderního traktoru na světě. Traktory začaly být postupně osazovány spalovacími motory a jejich používání v zemědělství bylo čím dál tím častější - hlavně v USA. K dalšímu rozšíření traktorů přispěla také 1. světová válka - nedostatek pracovních sil vedl k masivnímu rozšíření traktorů mezi zemědělci. První traktory se proti dnešním moderním traktorům značně lišily. Motory dosahovaly malých výkonů při vysoké spotřebě, první traktory neměly hydraulicky zvedaná ramena pro nesené stroje, pouze závěsy pro připojení tažných strojů, ocelová kola nebo pásy později vystřídaly ocelové ráfky zalité pryží a poté pneumatiky, chybělo osvětlení a také kabina. Řidič traktoru nebyl nikterak chráněn před vlivy počasí, před hlukem a jediným komfortním vybavením traktoru bylo tvrdé kovové sedátko, později uložené na pružiny.



Obr.2 Náčrt traktoru WIKOV 32 [30]

Jako v každém jiném průmyslovém odvětví se i vývoj traktorů dočkal obrovského rozmachu, především po druhé světové válce. Traktory začaly být osazovány vznětovými motory, běžným standardem se začala stávat kabina, hydraulicky zvedaná zadní ramena, vývodový hřídel, kompletní osvětlení traktoru atd. To vše procházelo modernizací a zlepšováním. Postupem času začaly být dieselové agregáty osazovány turbodmychadly a turbokompresory kvůli zvýšení výkonu a snižování spotřeby, důraz začal být kladen na zlepšování pracovního prostředí řidiče, kabiny se začaly důkladně odhlučňovat, ovládací prvky se rozmísťovali ergonomičtěji, kabiny se stávaly komfortnějšími a vybavenějšími. To vše kvůli pohodlí řidiče a snaze co nejvíce ulehčit obsluze traktoru pracovní cyklus.



Obr.3 Úspěšný poválečný československý traktor Zetor 25K po renovaci

2.2 Kabina traktoru

Kabina traktoru jako taková je pracovním prostředím pro obsluhu traktoru a proto velmi ovlivňuje pracovní nasazení traktoristy. Moderní kabiny musejí splňovat mnoho aspektů, které bývají důležité při splnění norem - ať jsou to již bezpečnostní normy, nebo hygienické. Základním prvkem moderní kabiny je rám, svařený většinou z ocelových profilů, do kterého jsou vhodně umístěna skla (často různým způsobem výklopná) a dveře. Na vrchní část ochranného rámu je umístěna střecha kabiny, ve které často bývají umístěny prvky ventilace a klimatizace a také otevíratelný větrací poklop. Trendem ve vývoji kabin je dosáhnout co největší prosklené plochy, kvůli lepšímu výhledu řidiče traktoru.

2.2.1 Vývoj kabin

Jak již bylo řečeno, první traktory na světě vůbec neměly kabinu. Obsluha traktoru pracovala ve velmi neergonomických a obtížných podmínkách a také při převrácení traktoru hrozilo řidiči jisté zranění, mnohdy i smrt. Problémem byly také povětrnostní podmínky, které taktéž zhoršovaly pracovní podmínky a řidič proti nim nebyl jakkoliv chráněn. Dalším problémem byl obrovský hluk, který pocházel od různých částí traktoru. Prvním náznakem kabiny byli ochranné rámy, naohýbané a svařené z profilů, na kterých byla umístěna plachta nebo plechová stříška, která měla alespoň částečně chránit řidiče před deštěm. Rám měl zajistit, aby řidič při převrácení byl alespoň částečně chráněn před zraněním. Stále však nebyl řešen problém hluku, ergonomie a taktéž povětrnostních vlivů. Dalším krokem k lepším pracovním podmínkám traktoru bylo zavádění „polouzavřených“ kabin. Tyto kabiny byly přišroubovány nejdříve napevno k základnímu tělu traktoru, poté přes pružné, gumové silentbloky. „Polouzavřená“ kabina znamená, že řidič je chráněn proti povětrnostním vlivům zepředu, z obou boků a zezadu je kabina otevřená. Pro obsluhu traktoru byly tyto kabiny



velkým usnadněním práce, protože již chránily před větrem, deštěm a v zimě mohly být částečně vytápěny-vytápění bylo často realizováno přívodem ztrátového tepla od motoru. Kabina ale nemohla být vytopena úplně, protože teplo pouze kabinou procházelo a zadní, otevřenou částí opět vystupovalo. O tomto druhu kabin můžeme říct, že byly vyráběny ve dvojím základním provedení:



Obr.4 Polouzavřená kabina [8]

První provedení

Kabina byla smontována, nebo svařena z plechových dílců, neměla svůj vlastní rám. Okolo kabiny byl kvůli ochraně řidiče vytvořen ochranný trubkový rám, který byl připevněn přímo k traktoru nezávisle na kabině. Toto řešení však skýtalo jednu obrovskou nevýhodu a to obrovské vibrace díky nízké tuhosti kabiny. Vibrace proto byly silným zdrojem hluku, který řidiče velmi obtěžoval. Další nevýhodou tohoto typu kabiny bylo i to, že byla velmi stísněná. Tento typ byl velmi často používán na starších traktorech Zetor.



Obr.5 Polouzavřená kabina [7]

Druhé provedení

Kabina měla svůj vlastní základní rám, na který byly připevňovány ostatní dílce šroubováním, popř. přivařením. Tento základní rám byl vyroben z hutních polotovarů, většinou čtvercového, nebo obdélníkového průřezu a při převrácení měl chránit řidiče. Původně se do těchto kabin nastupovalo zadní, otevřenou částí, popřípadě byly tyto kabiny vybaveny bočními dveřmi. Tyto kabiny byly většinou stísněné, nastupování bylo také často obtížné. Další nevýhodou byla stálá neergonomičnost. Ovládací prvky byly rozmístěny velmi špatně a také do kabiny pronikalo velké množství hluku, který obtěžoval řidiče.

Dalším krokem ke zlepšení pracovního nasazení řidiče byl vývoj a postupné zavádění tzv. „uzavřených“ kabin. Řidič byl již chráněn proti povětrnosti ze všech stran, dále pak kabina mohla být v zimě vytopena. Nespornými výhodami bylo také například: mnohem větší prostor v kabině, mnohem lépe rozmístěné ovládací prvky, lepší výhled z kabiny. U většiny traktorů je kabina koncipována s dvěma výklopnými dveřmi kvůli snadnému nastupování a vystupování (dveře jsou provedeny buď jako otevíratelné ve směru, nebo proti směru, jízdy) a v zadní části s výklopným oknem. Tento druh kabin je v současné době montován na většinu traktorů jako běžný standard. Od dob svého zavedení prošly tyto kabiny obrovským vývojem, především v oblasti ergonomie, pohodlí, či hluku. Moderní kabiny bývají od těla traktoru odpruženy. Velmi často se používá systém odpružení kombinací pneumatických a



hydraulických pružících prvků s ocelovými či pryžovými pružinami. Mnoho výrobců se snaží ulehčit servisní práce tím, že zavádí odklápěcí kabiny-např. firma John Deere na několika modelech využívá systém sklápění kabiny na bok, firma Fendt sklápění dopředu.



Obr.6 Pohled do moderní kabiny traktoru Zetor [9]

2.3 Vývoj protihlukových opatření u kabin traktorů

Velký vývoj protihlukových opatření nastal se zaváděním „polouzavřených“ resp. uzavřených kabin. Ty byly čím dál více komfortnější a vybavenější a také oblíbené mezi zemědělci. Avšak i když chránily dobře proti povětrnostním vlivům, nebyly dobře odhlučňené proti hluku, který produkoval traktor či připojený stroj. Proto výrobci začali postupem času kabiny osazovat protihlukovými izolacemi, které zároveň dobře fungovaly i jako tepelné izolace, začal se klást důraz i na používání kvalitních těsnících materiálů (například okolo skel, dveří, výklopných částí kabiny), aby do kabiny prostupovalo co nejmenší množství rušivého hluku a vibrací. Snižování vibrací kabiny také prošlo obrovským vývojem, kdy původně pevně přišroubované kabiny začaly být montovány na gumové silentbloky, poté na plynové či hydraulické elementy tak, aby nevibrovaly a nechvěly se. Hlavními místy, na které se začaly různě připevňovat protihlukové izolace byly například: místo přechodu mezi kabinou a motorem, spodní části kabiny kudy prostupoval hluk od převodovky a portálů, blatníky kabiny, kudy prostupoval hluk od pneumatik, střeška (spíše kvůli prostupům tepla) atd.



3. Zdroje hluku v kabině traktoru

3.1 Hluk a jeho dopady

Pojmem hluk obecně označujeme nežádoucí zvuk, který může být pro člověka rušivý či dokonce škodlivý pro jeho zdraví. Hladina zvuku je fyzikální veličina, která vyjadřuje míru tlakového působení akustických kmitů prostředí, v našem případě vzduchu, ve slyšitelném pásmu (20 Hz – 20 kHz). I když hluk se dá kvantitativně měřit, je velmi subjektivní porovnávání hluku, protože ucho každé osoby vnímá zvuky jinak. K objektivnímu porovnání slouží hlukoměry, které měří hodnotu akustického tlaku L_p , jehož fyzikální jednotkou je decibel [dB].

Základní rozdělení hluku je

A) podle jeho působení-na tzv. pásma:

- pásma fyziologické do 69 dB
- pásma zátěže 70 - 94 dB
- pásma poškození 95 - 119 dB
- pásma hmatu 120 - 129 dB
- pásma bolesti 130 dB a více

B) z hlediska časového průběhu a kmitočtu

- hluk stálý-jeho hladina se mění v rozsahu ± 5 dB
- hluk proměnný-jeho hladina se mění ve větším rozsahu než 5 dB
- hluk impulsní-jednotlivé impulsy hluku nebo sled impulsů

Dopady hluku na člověka jsou obrovské. Vědci uvádějí, že k poškození sluchu člověka může dojít po krátkodobém vystavení hluku nad 130 dB, avšak i po dlouhodobém působení hladin okolo 85 dB a výše. Proto v dnešní době musí kabiny traktorů splňovat mnoho nároků daných hygienickými či bezpečnostními normami. Jelikož řidič traktoru tráví v kabině téměř celou pracovní směnu, je nutné zajistit co nejlepší eliminaci hluku, který by mohl ovlivňovat jeho výkonnost a také zdraví. Sluch prvotně slouží člověku především jako varovný systém. Organismus kvůli tomu reaguje na hluk jako na poplašný signál a spouští celou řadu mechanismů. Dochází například ke:

- zvýšení krevního tlaku
- zrychlení tepu
- stažení periferních cév
- zvýšení hladiny adrenalinu
- ztrátám hořčíku

Hluk má poměrně významný vliv na psychiku jednotlivce a často způsobuje únavu, depresi, rozmrzelost, agresivitu, neochotu, zhoršení paměti, ztrátu pozornosti a celkové snížení výkonnosti. Dlouhodobé vystavování nadměrnému hluku pak způsobuje hypertenzi (vysoký krevní tlak), poškození srdce včetně zvýšení rizika infarktu, snížení imunity organismu, chronickou únavu a nespavost. Výzkumy prokázaly, že výskyt civilizačních chorob přímo vzrůstá s hlučností daného prostředí. [6],[11]



3.2 Hluk vyvíjený částmi traktoru

Hluk vyvíjený částmi traktoru se skládá ze tří složek:

- aerodynamický hluk
- hluk motoru
- hluk vznikající kontaktem pneumatik s vozovkou

Výše jmenované jsou nejvýznamnějšími hlukovými činiteli, které vytváří největší množství vibrací a hluku.

3.2.1 Hluk aerodynamický

Způsobuje jej samotné těleso traktoru tím, jak rozráží vzduch svým pohybem. Obecně však můžeme říci, že u traktoru je aerodynamický hluk málo významný kvůli nevysokým rychlostem pohybu. Uvádí se, že do rychlosti $30\text{--}50\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ převládá hluk motoru a hluk vznikající kontaktem pneumatik s vozovkou. Právě tyto hodnoty rychlosti jsou typické pro pohyb moderních traktorů v silničním provozu. Proto aerodynamický hluk netvoří až tak významnou složku celkového produkovaného hluku. Tento hluk se dá eliminovat vhodným tvarem vozidla, který je koncipován tak, aby mohl být co nejlépe obtékán proudícím vzduchem.

3.2.2 Hluk vyvíjený motorem

Motor je srdcem každého stroje, avšak je také největším producentem hlučnosti traktoru. Ve většině moderních traktorů jsou v dnešní době používány vznětové motory, které velmi často bývají přepřínované ve snaze dosáhnout co nejvyššího výkonu při co nejmenší spotřebě paliva. Moderní motor musí splňovat mnoho aspektů, ať již daných trhem a konkurencí, nebo normami. Z norem, které moderní motor musí splňovat jsou to například normy na výfukové emise, na spotřebu paliva, na hluk, na recyklovatelnost a bezpečnost. Trh, respektive zákazník, zase požaduje nízkou spotřebu paliva, velký výkon při dlouhé životnosti, snadnou údržbu a také přijatelnou cenu. A v neposlední řadě se jedná i o samotného výrobce motoru, který požaduje nenáročnou výrobu při co nejvyšší kvalitě a nejvyšším zisku. Nás však zajímá motor z hlediska hlučnosti. Zřejmě největším zdrojem hluku při chodu motoru je vlastní pracovní cyklus, jehož základními fázemi jsou sání, komprese, expanze a výfuk. Při expanzi dochází k vlastnímu vznícení paliva a jeho rozpínání, čímž dojde k pohybu pístu do jeho dolní úvratí. Právě vznícení paliva a rozpínání vzniklých spalin je velmi hlučná fáze pracovního cyklu motoru. Následuje výfuk, kdy horké spaliny jsou vyfukovány z prostoru válce a výfukovým potrubím jsou odváděny do okolního ovzduší. To vede k rezonanci potrubí vlivem proudění spalin a vzniku nepříjemného hluku. Proto je na koncepční řešení výfukového potrubí v dnešní době kladen velký důraz. Vhodným řešením výfukových svodů a tlumiče spalin lze eliminovat hluk od výfukových spalin na poměrně nízkou hodnotu. Nejdůležitějším článkem potrubí je tlumič, který při vhodné koncepci přepážek a tlumících elementů snižuje hlučnost na poměrně nízkou hodnotu. Se zvyšováním výkonu traktoru se začalo rozvíjet i využívání turbodmychadel a kompresorů. Vzhledem k tomu, že turbodmychadla a kompresory pracují ve velmi vysokých otáčkách, jejich vedlejším produktem je vysokofrekvenční hluk, který vyluzují a který se projevuje jako nepříjemné „pískání“. Dalším zdrojem hluku a vibrací v motoru moderního traktoru je nevyváženost chodu motoru. Tato vlastnost je typická pro motory s nižším počtem válců. Dá se poměrně efektivně eliminovat použitím vhodného setrvačnicku, který tlumí a eliminuje hmotovou



nevyváženost s využitím akumulace kinetické energie. Komplexním řešením útlumu hluku motoru je kvalitní protihluková izolace kapotáže motoru a optimálně navržené výfukové potrubí - kvůli snížení hluku vnějšího a částečně vnitřního, a kvalitní protihluková izolace kabiny - kvůli snížení hluku vnitřního. Každý výrobce motoru traktoru se musí řídit evropskými normami o vnějším přípustném hluku.

3.2.3 Hluk vyvíjený kontaktem pneumatik s vozovkou

Hluk vyvíjený kontaktem pneumatik s vozovkou je vyvolán valením pneumatiky po ploše vozovky. Tento hluk je zvláště patrný při jízdě traktoru velkou rychlostí po silnici. U moderních traktorů platí, že při rychlosti nad $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ převládá tento druh hluku nad ostatními. Je dokázáno, že čím širší pneumatika, tím větší hluk vzniká (při konstantních podmínkách). Existují dvě základní varianty snížení hluku vyvíjeného kontaktem pneumatik s vozovkou. Prvním řešením je použití tzv. „tichých“ pneumatik. Studie proveditelnosti, která byla v roce 2006 předložena Evropské komisi, navrhuje zavedení přísnějších limitů pro hlučnost pneumatik zatím u osobních a nákladních automobilů v letech 2008 a 2012. Navrhované limity by mohly vést ke snížení hlučnosti pneumatik o:

- 2,5-5,5 dB u osobních vozidel
- 5,5-6,5 dB u nákladních aut

Studie dále dokazuje, že:

- Tiché pneumatiky nemají žádný negativní vliv ani na bezpečnost, ani na spotřebu paliva.
- Zavedení navržených limitů by mělo za následek snížení celkové hlukové zátěže až o 3 dB, což se rovná snížení míry hluku (nebo počtu všech automobilů) na polovinu.
- Průmysl je na výrobu tichých pneumatik technologicky připraven, zavedení limitů si nevyžádá žádné extrémní náklady.
- Společenský přínos zavedení limitů se vyčísluje na 48 - 123 miliard euro v období let 2010 - 2022.
- Použití tichých pneumatik na tichém povrchu komunikace jejich efekt dále znásobí.
- Již v současné době existují pneumatiky, které jsou dokonce 8 dB pod limitem.
- Zavedení limitů pro hlučnost pneumatik je jedním z nejrychlejších možných řešení hlukové problematiky – životnost pneumatik je poměrně krátká, takže efekt snížení hluku by se brzy projevil.

Druhým řešením jsou tzv. „protihlukové“ povrchy vozovek. Ty mohou teoreticky snížit hluk vznikající na vozovce o polovinu až tři čtvrtiny oproti běžnému asfaltovému povrchu. Dvouvrstvý porézní povrch vozovky (který může být vyroben z recyklovaných pneumatik) může dosáhnout snížení 12 dB oproti běžnému povrchu. Některé země – např. Dánsko, Německo, Nizozemí nebo Japonsko – již vyvíjejí tišší povrchy vozovek, které zároveň splňují nároky na cenu, bezpečnost a trvanlivost. Efekt snížení hluku na tichém povrchu se projeví především u komunikací, po nichž jezdí automobilová doprava rychlostí nad $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Tichý povrch vozovky je oproti běžnému dražší, nelze však opomenout úspory, jako je zbavení se nutnosti budovat nevzhledné protihlukové stěny nebo izolaci budov, či nižší náklady na zdravotní péči vlivem úbytku nemocí způsobených hlukem. Použití tichých povrchů vozovky by mělo být prioritou na všech frekventovaných silnicích v blízkosti zástavby. [6]



3.2 Hluk vyvíjený zapřaženými stroji

Hluk vyvíjený zapřaženými stroji je nedílnou složkou celkového hluku, který působí na obsluhu traktoru a na okolí při pracovní činnosti. Nejhluchnějšími připojenými stroji jsou stroje, které pro vykonávání své činnosti potřebují různé převody a mechanismy-ty jsou totiž největším zdrojem hluku. Mezi takovéto stroje patří například: sběrací návěsy, fekální návěsy, lisy slámy, bramborové kombajny, obrabeče sena, rotační žací stroje ad.



Obr.7 Lis New Holland s velmi hlučným rozvodem pomocí řetězů [10]

Mezi další stroje vyvolávající hluk patří stroje, které při své činnosti upravují půdu a jsou v přímém kontaktu s ní, jako například: sazečky brambor, secí stroje, kypřiče půdy, pluhy, rotavátory ad. V neposlední řadě nesmíme zapomenout na zapřažené kolové návěsy a vleky, které se pohybují po silnici. Ty jsou taktéž významným zdrojem hluku v důsledku valení pneumatik po vozovce.



Obr.8 Návěs Molčík [12]



4. Požadavky na vlastnosti protihlukových materiálů

Protihlukové materiály používané v traktorech musí splňovat spoustu požadavků, které jsou vyžadovány normami anebo jsou vyžadovány odběrateli, tj. výrobci traktorů. Tyto materiály nemusí pouze plnit funkci protihlukovou, často jsou zároveň použity i např. jako izolace tepelná.

Požadavky na vlastnosti, které jsou na protihlukové materiály kladeny, můžeme rozdělit na:

- vlastnosti normalizované
- vlastnosti nenormalizované

4.1 Požadavky na vlastnosti normalizované

Izolační materiály, které jsou použity v traktorech, musí splňovat určité požadavky kladené normami. Tyto požadavky jsou většinou bezpečnostního charakteru a mají chránit posádku vozidla před nebezpečími, které by ji mohly ohrozit jednak při samotném užívání a také například při nehodě nebo při požáru. Některé z norem jsou společné i pro izolační materiály používané v jiných odvětvích průmyslu, například ve stavebnictví. Některé požadavky se řídí normami českými, některé se vztahují k normám evropským či světovým.

- **Stupeň absorpce zvuku $\alpha[-]$** - je schopnost materiálu přeměnit zvukovou energii na jinou formu energie (zpravidla tepelnou energii). Je závislý na tloušťce materiálu a na frekvenci pronikajícího zvuku
- **hořlavost** - je snadnost, s jakou se materiál vznítí a způsobí žár či hoření. Materiály, které se vznítí při určité teplotě, jsou považovány za hořlavé, přičemž nutná teplota je definována pevně. Teplota vznícení je důležitou charakteristikou. Materiál, který je použit ve vozidle musí vyhovovat požadavkům na hořlavost materiálu v interiérech vozidel dle sbírky zák. č. 102/1995, měl by vyhovovat dle normy ČSN 730862 o stupni hořlavosti, a evropské normě EN 13 501 o reakci materiálu na oheň.
- **emise formaldehydu** - formaldehyd je za normální teploty bezbarvý plyn, štiplavého zápachu, zdraví škodlivý. Emise formaldehydu se řídí podle normy EN ISO 16000-3
- **hodnocení zápachu** - poměrně subjektivní vlastnost, většinou je stanovena odběratelem podniková norma, kterou musí dodávaný materiál splňovat.
- **hydroizolační vlastnosti** - vzhledem k tomu, že izolační materiály jsou velmi často vystaveny přímému působení povětrnostních vlivů, musí splňovat také hydroizolační vlastnosti, které stanovuje norma. Jsou to především: nasákavost dle ČSN 64 0112 za 14 dní a za 28 dní, dále je to navlhavost za 14 dní a 28 dní, difuze vodní páry μ_{Qmax} dle ČSN 73 2580 a v neposlední řadě je to odolnost v alkalickém a kyselém prostředí dle ČSN 640242
- **hygienická nezávadnost** - materiál musí splňovat souhlasné stanovisko hlavního hygienika ČR
- **certifikace materiálu** - materiál musí obdržet certifikát, který vydá zkušebna.



4.2 Požadavky na vlastnosti nenormalizované

Jsou to vlastnosti, které jsou stanoveny výrobcem pro dosažení optimálních vlastností (ať už hlukových nebo i tepelných) jednak pro budoucí obsluhu traktoru a okolí, dále pro snadnou a levnou montáž ad.

- **Vážená laboratorní neprůzvučnost** R_w [dB] - vlastnost izolace tlumit zvuk pronikající do sousedního prostoru.
- **Součinitel tepelné vodivosti** λ_D [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] - je definován jako množství tepla, které musí za jednotku času projít tělesem, aby na jednotkovou délku byl jednotkový teplotní spád. Přitom se předpokládá, že teplo se šíří pouze v jednom směru, např. v desce s rovnoběžnými povrchy. Je závislý na použitém materiálu a také na okolní teplotě. Platí, že čím nižší součinitel tepelné vodivosti, tím nižší jsou také ztráty tepla. Proto jako izolační hmoty se používají materiály s nízkým λ_D obvykle v řádech desetín či setin $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.
- **Protiradonová účinnost** - vlastnost, která vyjadřuje prostup radonu materiálem pomocí součinitele difuze radonu D [$m^2 \cdot s^{-1}$], je spíše typická pro izolace stavební, avšak mnoho výrobců izolací do automobilního průmyslu tuto vlastnost uvádí
- **Měrná hmotnost** ρ [$kg \cdot m^{-3}$] - neboli hustota-vlastnost, která vyjadřuje podíl hmotnosti a objemu.
- **Plošná hmotnost** [$kg \cdot m^{-2}$] - vlastnost která vyjadřuje podíl hmotnosti a plochy.
- **Tažnost** A [—, %] - je vyjádřena poměrem přírůstku délky vzorku ku délce původní. Vyjadřuje se v procentech.
- **Pevnost v tlaku** σ [MPa] - mez pevnosti je maximální hodnota normálového napětí σ_n , při které ještě není porušena celistvost materiálu. Je vyjádřena jako podíl deformující síly F a průřezu kolmého řezu S , na který tato síla působí.
- **Chemická odolnost** - vyjadřuje vlastnost izolace odolávat působení chemických látek např.: olejům, benzinům, rozpouštědlům, ad.
- **Přilnavost** [$N \cdot cm^{-2}$] - je udávána u izolací, které se aplikují lepením pomocí vlastní lepicí vrstvy. Je to síla, kterou dokáže vyvodit lepicí vrstva izolace na 1 centimetr čtverečný k přilnutí na daný materiál. Závisí na materiálu, na který je izolace lepena a také na druhu lepicí vrstvy, která je použita. [11],[13]



5. Základní druhy protihlukových materiálů (izolací)

5.1 Základní rozdělení materiálů dle způsobu odhlučnění

Všeobecně se dá říci, že odhlučnění spočívá v:

- omezení vibrací kovových částí karosérie, které se pak sami díky vibracím stávají zdrojem hluku
- zamezení prostupu hluku do kabiny
- pohlcování hluku v místech, kudy by mohl pronikat do kabiny, případně přímo v kabině

Pro všechny tyto případy existuje specifická skupina materiálů, které hlučnost omezují, přičemž některé materiály kombinují i dvě vlastnosti. V každé skupině uvedu výčet používaných materiálů a u vybraných uvedu jejich vlastnosti.

5.2 Omezení vibrací – tlumení

Pro omezení vibrací kovových i plastových částí i pro výrazné omezení prostupu zvuku se používají antivibrační (tlumící) materiály, které potlačují rezonance plechů a plastů. Jsou to různé elastické nátěry (např. Dynashield, Terophon, Dinitrol), samolepící pláty z obvykle vysoce viskózní, asfaltózní hmoty na bázi bitumenu, butylkaučuku apod. (např. Dynamat, Sikadamp, TBP, Zealum, Stinger, Doromat, Terodem, Würth, Dinitrol, Vibraflex apod.), často s krycí hliníkovou fólií, která dodává soudržnost a kryje hmotu před působením okolního prostředí a která navíc odráží teplo, tedy funguje i jako tepelná izolace. [28]

5.2.1 Elastické nátěry

Většinou se jedná o tzv. tekutou gumu, která je schopna vyplnit a vytlumit různé prostory. Aplikují se buď nátěrem, vyléváním, popř. stříkáním. Schopnost omezení vibrací a i celkové vlastnosti záleží velmi na kvalitě nanesení nátěru a na tloušťce vrstvy nátěru.

Příklad používaných materiálů:

Dynashield

Je tekutá guma, která dokáže vytlumit i ta nejhůře dostupná místa. Jedná se o univerzální a velice odolnou "kapalinu", která zároveň dlouhodobě chrání před korozí. [15]

Terophon

je krycí antivibrační a antihlukový nátěr, nanášený stříkáním nebo nátěrem. Je nízkohořlavý (třída B), šetrný k životnímu prostředí neobsahuje toxické látky, těžké kovy ani azbest. [22]

Dinitrol

podobné vlastnosti jako Dynashield a Terophon, nanáší se opět stříkáním nebo nátěrem. [22]

5.2.2 Asfaltózní hmoty

Vyrábí se na bázi bitumenu a butylkaučuku. Živice neboli bitumen je souhrnné označení pro organické kapaliny, které jsou vysoce viskózní, černé barvy a zcela rozpustné v sirouhlíku.



Asfalt a dehet jsou nejčastější formy živic. Asfalt se získává z ropy jako zbytek po vakuové destilaci, je to nejhustší složka ropy s nejvyšším bodem varu. [11]

Příklad používaných materiálů:

DYNAMAT

Dynamat je patentovaný, lehký, elastický butyl s ochrannou hliníkovou fólií, tlumící vibrace. Je lehce přilnavý ke kovovým a tvrdým materiálům (k plechům). Aplikuje se na kovové panely (střecha, přední kapota, podlaha atd.). Materiál má optimální vlastnosti při teplotě od -10 °C do +60 °C. Odolný je však už od -54 °C do +149 °C a je velmi odolný vůči stárnutí.

Vlastnosti:

sendvičový materiál s vrstvou z černého butylu, s ochrannou hliníkovou fólií, na samolepící straně opatřený krycím papírem

Hmotnost:

2,20 kg/m²

Chemická odolnost:

odolný proti vodě a minerálním olejům

Přilnavost:

74,8 N/cm² na studené oceli [15]



Obr.9 Asfaltózní DYNAMAT [15]

SIKADAMP

Lehká dvouvrstvá izolační fólie na bázi butylkaučuku s hliníkovou fólií. Aplikuje se lepením pomocí samolepící vrstvy. Slouží k tlumení vibrací u plošných dílů karosérie. Materiál je odolný vůči vodě a soli. [25]



Obr.10 Sikadamp [25]

DOROMAT XS

Samolepící, elastický materiál umožňuje odhlučnění kovových a umělohmotných ploch. Byl vyvinut k odstranění hluku způsobeného vibracemi. Odstraňuje vibrace ploch, jež nejsou dostatečně tuhé. Protože je vodovzdorný, je ideální pro použití ve vlhkem ohrožených místech. [26]



TERODEM SP 300

Jsou samolepící protihlukové desky na bázi bitumenu a plastické hmoty pro odhlučnění, používané na podlahy. Materiál se po zahřátí přesně přizpůsobuje tvaru podlahové plochy a zatéká i do lemů a rohů. [24]



Obr.11 Asfaltózní TERODEM [24]

VIBRAFLEX 25

Je 2,5 mm tlustý tlumící bitumenový plát, který má velice kvalitní lepící plochu a pružnost. Tlumení Vibraflex se používá pro odstranění rezonancí. [23]



Obr.12 Bitumenový Vibraflex [23]

5.3 Omezení prostupu hluku

Omezení prostupu zvuku řeší i skupina v předešlé kapitole popsaných tlumících materiálů pro omezení vibrací. Pro omezení prostupu hluku lze využít i jiné, spíše hutné elastické materiály, např. pláty z pryže EPDM různé hustoty. Zesilují omezení vibrací a prostup hluku do kabiny. Pro větší tepelnou zátěž jsou vhodné různé silikonové pryže, které mají výborné vlastnosti – nenasákavost, teplotní odolnost, chemickou odolnost, netoxicitu, odolnost namáhání i stárnutí, nízká hmotnost, avšak dosti vysoká cena. Proti prostupu hluku se dá použít i např. pěna Terofoam - která je k tomuto určená a stříká se dovnitř sloupků karosérie a vytváří tak bariéru šíření hluku těmito prostory, což jistě přináší též významný efekt. Druhou stránkou je, že takto oddělené prostory jsou zase hůře odvětrávány. [28]

5.3.1 Pryže EPDM

Pryž EPDM je syntetický polymer na etylen – propylenové bázi, má velmi dobré fyzikálně-mechanické vlastnosti, odolnost v prostředí s působením atmosférických vlivů a je rezistentní vůči mnoha chemikáliím. Pryže EPDM mají však špatnou odolnost vůči ropným látkám.

Příklad používaných materiálů:

Pryž EPDM 60 Sh

Speciální pryž odolná atmosférickému stárnutí a teplotám až 120°C. Tento syntetický terpolymer na etylen - propylenové bázi (EPDM) má velmi dobré fyzikálně - mechanické



vlastnosti, odolnost v prostředí s působením atmosférických vlivů. Je rezistentní vůči mnoha chemikáliím, ozonovému stárnutí, atmosférickým vlivům a vysokým teplotám. Tato pryž velmi špatně odolává ropným produktům. Pryžové desky o veliké odolnosti proti tepelnému stárnutí, atmosférickým podmínkám, dobře odolné na ozon i neorganické kyseliny a také slabě odolná na organické kyseliny. Mohou být vyrobeny s jednou nebo dvěma textilními vložkami. [22]

5.4 Pohlcování hluku

Pro pohlcování hluku lze s úspěchem použít různé plsti (velmi dobré výsledky dle odborníků v potlačení hluku vykazují polyesterová vlákna), PUR pěny (např. molitany s hydrofobní úpravou proti vlhkosti a nízkou hořlavostí pro použití v automobilovém průmyslu - např. ANS - molitan s uhlíkovým vláknem, či molitany k kryjící ochrannou vrstvou), melaminové pěny Basotect (vynikající zvukově izolační vlastnosti díky struktuře otevřených buněk a výborná tepelná odolnost a nehořlavost, avšak vysoká nasákavost vodou a křehkost - proto se musí používat s krycí hydrofobní textilií). Dále se používají plstě a jiné netkané odhlučňovací textilie, minerální a skelné vaty. [28]

5.4.1 Polyuretanové pěny

Polyuretan, běžně zkráceně PUR, je polymer, který se vyrábí z izokyanátů a diolů. Polyuretanové materiály pokrývají velmi široké spektrum tuhostí, tvrdostí a hustoty díky různým druhům používaných nadouvaděl. Polyuretan je materiál "programovatelný", podle jeho chemického složení a způsobu vytvoření může vzniknout řada zcela odlišných typů - od měkkých pěn přes tvrdé pěny až po strukturální PUR pro výroby stavebního i spotřebního průmyslu, od běžně hořlavého polyuretanu přes samozhášivé typy až po těžko hořlavé až nehořlavé, s teplotní odolností běžnou (120 °C) až po teplotně odolné při 300 °C atd.

Základní druhy polyuretanu:

- **polyuretany s nízkou hustotou-flexibilní pěny**- používané v čalounictví
- **polyuretany s nízkou hustotou-tuhé pěny**- používané pro izolace a automobilový průmysl
- **měkké, pevné polyuretany**-používané např. pro gelové podložky
- **tvrdé pevné polyuretany**-používané pro výrobu konstrukčních dílů.

Polyuretan může mít podobu tvrdé pěny ve formě desky, ve formě sendvičového panelu, může se aplikovat jako výplň dutin nebo vytvoření vrstvy, která má tepelně izolační i hydroizolační funkci. [11]

Nejpoužívanější protihlukové materiály na bázi PUR pěn:

MOLITAN S 2832 F, MOLITAN S 3535 F

PUR pěny MOLITAN patří díky svým vlastnostem pohlcovat hluk ke špičkovým materiálům této oblasti. Nachází široké uplatnění nejen v automobilovém průmyslu, ale také v odhlučňování různých sálů, místností, zkušeben aj. Jeho nevýhodou oproti jiným materiálům je hořlavost. Stupeň absorpce hluku závisí i na druhu povrchu, tzn. že povrch může být proveden jako hladký, nebo pyramidový, nebo vlnitý. [32]



Tvar	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Deska	0,19	0,53	0,81	1,00	0,94	1,01
Jehlan	0,14	0,40	0,75	0,98	0,98	1,02
Vlnky	0,11	0,32	0,63	0,90	0,91	0,95

Tab.1 Stupeň absorpce MOLITANu S 3535F pro různé tvary povrchu [32]



Obr.13 Polyuretan MOLITAN s různými druhy povrchu [32]

ANS (polyuretan-molitan-s uhlíkovým vláknem)

Vlastnosti podobné molitanu, avšak díky uhlíkovým vláknům vyšší životnost, lepší odolnost vůči vlhkosti, lepší mechanické (pevnostní) vlastnosti.

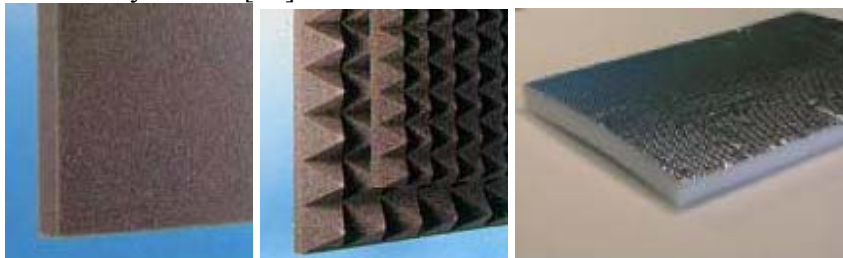
5.4.2 Melaminové pěny

Jsou plasty, které obsahují melamin. Ten je výhodný z hlediska vysokého obsahu dusíku, který se při vznícení hmoty uvolňuje a tlumí oheň. Z těchto pěn lze vytvářet tvarově komplexnější a variabilnější díly o hustotě pouhých 9 kg.m^{-3} s vysokou požární odolností třídy B2 a ČSN EN 4102 (bez požárních retardantů) a použitelností od teploty -200°C až do 240°C bez deformace či natavení a odkapávání. Pěny mají vysokou chemickou stálost v prostředí paliv, olejů a chladicích nebo řezných kapalin. Alternativně je lze impregnovat emulzemi silikonů nebo fluoropolymerů pro zlepšení hydrofobních či olejofobních vlastností. [11] Snadno se obrábějí strojním i ručním řezáním, frézováním, vrtáním, děrováním a ostřihováním. Velkou předností melaminových pěn všech typů je jejich vysoká zvukově-izolační schopnost, když v tloušťkách od 40 mm absorbují až 80 % zvuku frekvencí od 300 do 5000 kHz, v tloušťce 50 mm až 90 % frekvence 2000 kHz (DIN 52215). Právě pro ideální kombinaci vlastností a ceny jsou vyhledávaným materiálem na tepelné, zvukové a vibrační izolace traktorů - kapoty motorového prostoru, sloupky, kabiny aj. [33]

Příklad používaných materiálů:

BASOTECT (Eurofoam)

Tato pěna má vynikající tepelně izolační vlastnosti, zvukově izolační vlastnosti a velmi nízkou hmotnost 10 kg/m^3 . Basotect má vysokou odolnost vůči hoření, byl testován podle ČSN 730862 - C2 - středně hořlavý, ČSN 73 08 63 - 0 mm/min a ČSN 730865, dle DIN 4102 má třídu hořlavosti B1, dle ÖNORM 3800 B1 Q1 Tr1. Basotect nescapává ani hořící neodpadává. Používá se buď s hladkým povrchem, s pyramidovým povrchem, nebo je opatřena hliníkovou krycí folií. [21]



Obr.14 Melaminová pěna BASOTECT s různými druhy povrchů [21]



Stupeň absorpce v DIN 52212					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,09	0,14	0,28	0,59	0,87	0,86
0,11	0,23	0,53	0,92	0,90	0,99
0,15	0,39	0,69	0,92	0,90	1,01
0,19	0,53	0,81	1,00	0,94	1,01
0,36	0,98	1,19	1,01	1,03	1,04

Tab.2 Stupeň absorpce v DIN 52212 pro materiál BASOTECT s hladkým povrchem [21]

5.4.3 Plstě a netkané textilie

Plsti - se vyrábějí většinou polovlněné a to jako tuhé, polotuhé nebo měkké.

Netkané textilie - se vyrábí z polyesterových, polypropylenových a viskózových vláken

Nevýhodou těchto materiálů je vysoká nasákavost - nejsou moc používané.[11]

Příklad používaných materiálů:

VPICHOVANÉ TEXTILIE



Obr.15 Vpichovaná textilie [19]

STRUTO®-netkané textilie

Je systém pro výrobu kolmo kladených netkaných textilií se zcela novými vlastnostmi.

Výhody STRUTO® v porovnání s klasickými technologiemi:

1. Lepší funkční vlastnosti - objemnost, odolnost vůči stlačení, dobrá zotavitelnost po zatížení, tepelně izolační vlastnosti, protihlukové vlastnosti, měkkící schopnost
2. Stačí použít méně vlákenného materiálu pro získání srovnatelných vlastností.
3. Možnost zpracovávat všechny typy vláken včetně recyklovaných, přírodní i syntetické materiály
4. Nižší cena strojního zařízení, nižší spotřeba energie, menší zastavěná plocha v porovnání s klasickými produkčními linkami skládajícími se z příčného kladeče a vpichovacího stroje nebo postřikovacího zařízení se sušárnou
5. Snadná recyklovatelnost a dobré hygienické vlastnosti výrobků v porovnání například s polyuretanovou pěnou [27]



Obr.16 Příklad netkaných textilií STRUTO [27]



5.4.4 Minerální a skelné vaty

Minerální vata je rouno slisované z vláken minerálního původu. Vata se používá k tepelné, protipožární a zvukové izolaci. Minerální vlákno se získává z tavené kameniny (siderit, vápenec, dolomit, čedič aj.), do směsi se přidává i recyklované sklo a koks. Tavenina na skelnou vatu obsahuje až 70 % recyklovaného skla, písek, vápenec a sodu. Granulát z těchto látek se mele a taví metodou tepelného rozkladu nebo tzv. sol/gel metodou. výsledné vlákno (průměr nad 3 μm) se dluží a případně upravuje na požadovanou délku (cca. 3-12 mm). Soudržnost vaty se pak zvyšuje napouštěním pojivem (až 7 % bakelitu) a k omezení prašnosti se přidává asi 0,5 % oleje. K výrobě minerální vaty z kameniny (někdy se říká také z keramických vláken) je zapotřebí více energie, protože se pracuje s vyššími teplotami, než při zvláknění skla. Minerální vata má lepší odolnost proti vysokým teplotám než skelná vata (např. čedič měkne při 960°C, sklo při 450°C). Skelná vata je pružnější a lehčí (měrná hmotnost cca. 2500 kg/m³) než vata z jiných minerálů (např. čedič má 2733 kg/m³). [11]

5.5 Sendvičové (kombinované materiály)

Sendvičové materiály (většinou samolepící), spojují funkce antivibrační, proti prostupu hluku a pohlcování hluku. Obvykle mají ještě krycí textilii či hliníkovou fólii. Jsou velmi výhodné právě díky spojení všech tří základních protihlukových aspektů do jednoho kompletu, čili usnadňují následnou aplikaci a to tak, že místo aplikování tří samostatných vrstev se aplikuje pouze jedna „sendvičová“ vrstva. Tento druh kombinovaných materiálů je dnes hojně využíván, protože umožňuje zkombinovat velké množství materiálů jak z kategorie tlumení hluku, tak z kategorie pohlcování hluku. Spojení jednotlivých vrstev sendviče se provádí buď lepením, nebo lisováním. Právě kombinování různých materiálů z různých kategorií nabízí nespočet možných kombinací.

Příklad používaných materiálů:

AMS-Tecsound

Je tvořena neprůzvučnou vrstvou AMS-Tecsound a zvukově pohltivou vrstvou na bázi netkaných textilií, PUR, minerálních a skelných vláken atd. Těžkou neasfaltickou fólií AMS-Tecsound je možno používat i samostatně a to jak v oblasti snížení hlučnosti, snižování vibrací a rezonancí tenkých plechů. Může být aplikována na vnitřní i vnější stranu protihlukového krytu, může být součástí obložení podlahy, stěn i stropu kabiny. [18]

Základní skladba sendviče:

1. krycí vrstva

např. Al fólie (může být perforovaná), koženka, textilie, guma, koberec, ...

2. pohltivý materiál

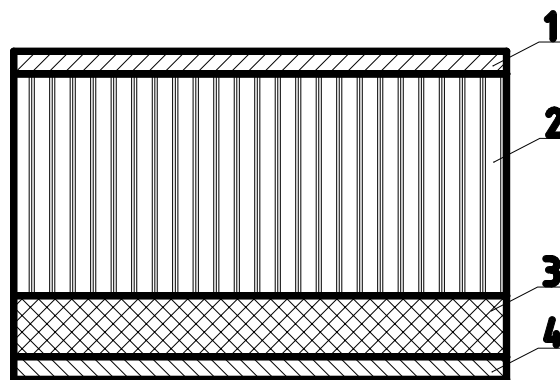
(tloušťka 5-100 mm) - různé typy netkaných textilií a plstí (struto, isocar, itex, vip, obus), molitan, PUR, skelný proplet, araver, skelná a minerální vlna, ...

3. fólie AMS-Tecsound

(tloušťka 2,3,4 mm)

4. samolepící vrstva

vytvořena s použitím akrylátových disperzí



Obr.17 Skladba sendvičové izolace



Vybrané vlastnosti:

měrná hmotnost - 1850 kg/m^3

plošná hmotnost - $3,5 - 8 \text{ kg/m}^2$ dle tloušťky fólie

tažnost - min. 300%

hořlavost - vyhovuje požadavkům na hořlavost materiálů interiérů vozidel dle sbírky zák. č. 102/1995, vyhovuje normě VW-TL 1010, stupeň C1 - dle ČSN 730862, třída B s2 d0 dle EN 13 501

emise formaldehydu - vyhovuje normě VW-PV 3925

emise uhlíku - vyhovuje normě VW-PV 3341

hydroizolační vlastnost - nasákavost dle ČSN 64 0112: 14 dní.....0,61; 28 dní.....0,87

navlhavost 14 dní.....0,07; 28 dní.....0,09

difuze vodní páry - $\mu_{Q\max} = 2,37 \cdot 10^{-4}$ dle ČSN 73 2580

odolnost v alkalickém a kyselém prostředí - dobrá dle ČSN 640242

hygienická nezávadnost - souhlasné stanovisko hlavního hygienika ČR: HEM-3214 -5.8.94

protiradonová účinnost - součinitel difuze radonu D (m^2/s) $5,8 \cdot 10^{-12}$

certifikace materiálu - certifikát č. C1-96-0016 z 29.2. 1996 vydala Státní zkušebna č. 227.

[18]



Obr.19 Aplikace sendvičového materiálu AMS Tecsound [18]

6. Příklad provedení protihlukové izolace, vlastní měření

Na několika příkladech traktorů různých značek se v této kapitole pokusím analyzovat způsoby odhlučnění kabiny traktoru. U různých značek jsou patrné různé způsoby provedení protihlukové izolace, která chrání obsluhu traktoru a okolí před škodlivými účinky hluku vyvíjeného jednotlivými částmi. V další části této kapitoly jsou provedena měření hluku na různých strojích v kabině traktoru v řidičově pozici, dále pak v okolí traktoru, kde hluk působí na osoby pohybující se v blízkosti stroje. Tato měření ukazují především vliv otáček motoru na vzniklý hluk v kabině. Podle těchto měření je dále vyhodnocen graf, podle kterého se dá určit, který traktor má nejlepší vlastnosti z hlediska hladiny hluku v kabině a v okolí traktoru jeden metr kolmo od předního kola.



6.1 Příklady provedení protihlukové izolace

Pro příklad provedení protihlukové izolace byly vybrány následující stroje:

Zetor 5011

New Holland T 6010

John Deere 5820

Valtra N 111

Case CVX 175

JCB Fastrac 3190

Jednotlivé stroje mají různé způsoby odhlučnění kabiny, které se poměrně liší. Ani jeden stroj neměl jakkoli odhlučňenou kapotáž motoru.

Zetor 5011

Odhlučnění kabiny je provedeno sendvičovým materiálem, jehož skladba je: hliníková krycí vrstva, materiál na bázi minerální vaty, molitan, textilní část opatřena lepicí vrstvou. Izolace je nalepena na spodní části kabiny a na krytu, který je umístěn pod volantem. Umístění izolace na spodní části kabiny je velmi nepraktické z hlediska vlhkosti a prašnosti. Materiál je po 24 letech provozu traktoru velmi poškozen a zdegradován.



Obr.20 Zetor 5011

New Holland T 6010

Odhlučnění kabiny tohoto traktoru je provedeno sendvičovým materiálem, který je tvořen základním materiálem větší tloušťky na bázi melaminové pěny, který je kryt slabší vrstvou materiálu na bázi bitumenu. Izolace je provedena velmi výhodným způsobem-je umístěna na spodní části kabiny zevnitř pod plastovými interiérovými dílci kabiny. Nepodléhá tedy degradaci vlhkostí a prašností.



Obr.21 New Holland T 6010

John Deere 5820

Odhlučnění kabiny tohoto traktoru je provedeno měkkou pěnou (melaminovou), která je zalita v gumových dílcích umístěných na vnitřní straně podlahy kabiny traktoru. Umístění je velmi výhodné z hlediska nepůsobení vnějších vlivů jako vlhkost, prašnost, atd.



Obr.22 John Deere 5820



Valtra N 111

Odhlučnění kabiny tohoto traktoru je provedeno vrstvou pryže, která je umístěna pod plastovými dílci podlahy interiéru traktoru. Umístění je velmi výhodné z toho důvodu, že na pryž nepůsobí vlhkost ani přímé sluneční záření, které by vedlo k vytvrzování a následnému ztýření pryže.



Obr.23 Valtra N 111

Case CVX 175

Odhlučnění kabiny tohoto stroje je dvojité. Prvním krokem k odhlučnění je použití vrstvy pryže pod plastovými dílci podlahy interiéru stroje. Druhým krokem jsou bloky sendvičového materiálu tvořené vrstvou materiálu na bitumenové bázi a silnou vrstvou melaminové pěny. Tyto bloky jsou umístěny z venkovní části kabiny stroje např. mezi motorem a čelní částí kabiny, v zadní části zespodu kabiny.



Obr.24 Case CVX 175



JCB Fastrac 3190

Odhlučnění je provedeno opět pryžovými dílci uvnitř kabiny, které se ukrývají pod plastovými dílci podlahové části kabiny. Jak již bylo řečeno, toto umístění je velmi výhodné z toho důvodu, že na pryž nepůsobí vlhkost ani přímé sluneční záření, které by vedlo k vytvrzování a následnému ztýření pryže.



Obr.25 JCB Fastrac 3190

6.2 Vlastní měření

Měření bylo prováděno na šesti strojích různých značek a různých výkonů hlukoměrem BEHA 93411, výrobní číslo 94024256, za různých podmínek a to jednak v kabině traktoru při konstantních otáčkách 1000 min^{-1} , při 2000 min^{-1} , dále pak ve vzdálenosti jeden metr kolmo od předního kola při konstantních otáčkách 1000 min^{-1} a 2000 min^{-1} . Postup měření byl následovný: pomocí ručního plynu byla nastavena hodnota 1000 (respektive 2000) otáček za minutu podle otáčkoměru stroje a pomocí hlukoměru byla za dobu jedné minuty odečtena nejvyšší hodnota hluku. Měření v kabině bylo prováděno přibližně v úrovni řidičovy hlavy. Měření zvenčí bylo prováděno jeden metr kolmo od předního kola v úrovni cca 1,8metru nad zemí (čili v úrovni hlavy osoby pohybující v okolí traktoru).

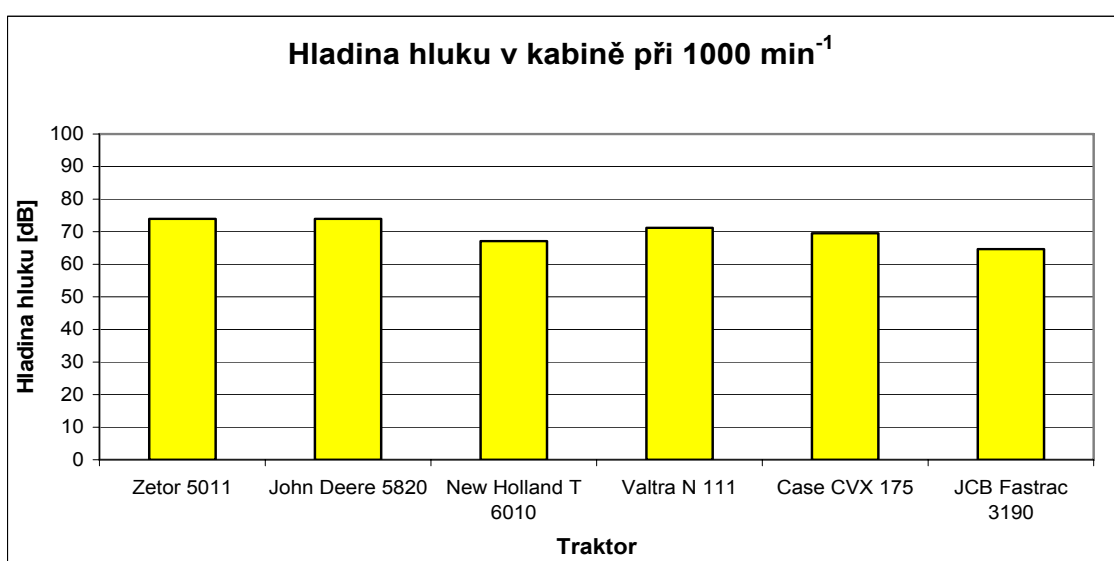


Obr.26 Ukázka nastavení 1000 min^{-1} na stroji New Holland

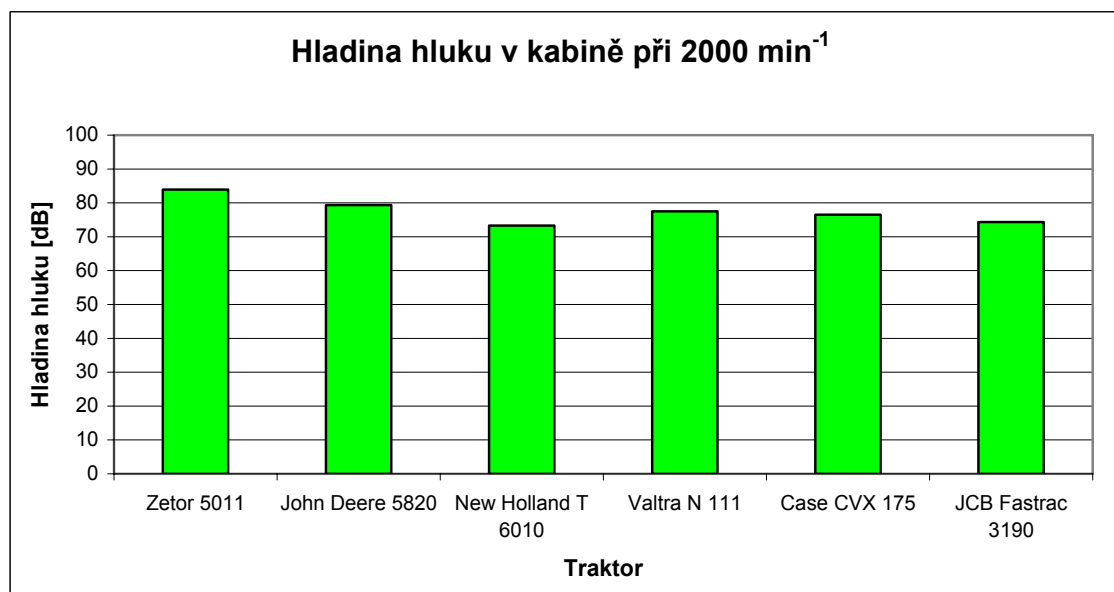


Značka a typ traktoru	Hladina hluku v kabině při 1000ot/min [dB]	Hladina hluku v kabině při 2000ot/min [dB]	Hladina hluku v okolí traktoru při 1000ot/min [dB]	Hladina hluku v okolí traktoru při 2000ot/min [dB]
Zetor 5011	74	83,9	84,5	94,4
John Deere 5820	73,9	79,3	84,5	93,8
New Holland T 6010	67,1	73,3	82,4	88,4
Valtra N 111	71,2	77,5	89,6	95,5
Case CVX 175	69,5	76,5	91,2	93,5
JCB Fastrac 3190	64,7	74,3	81,4	92,8

Tab.3 Hluk různých traktorů za různých podmínek



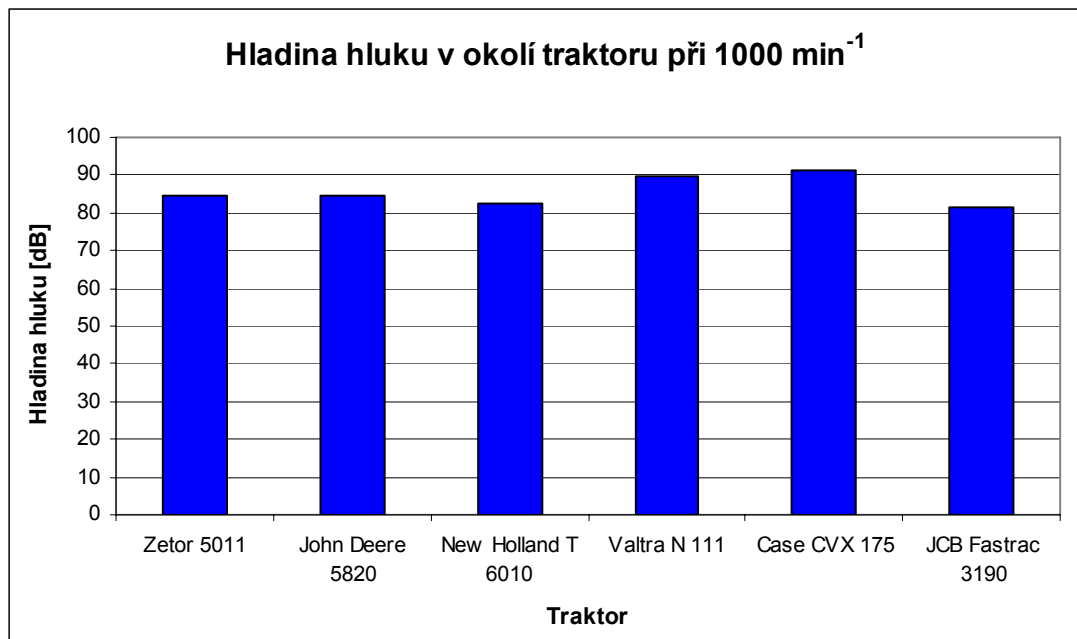
Obr.27



Obr.28

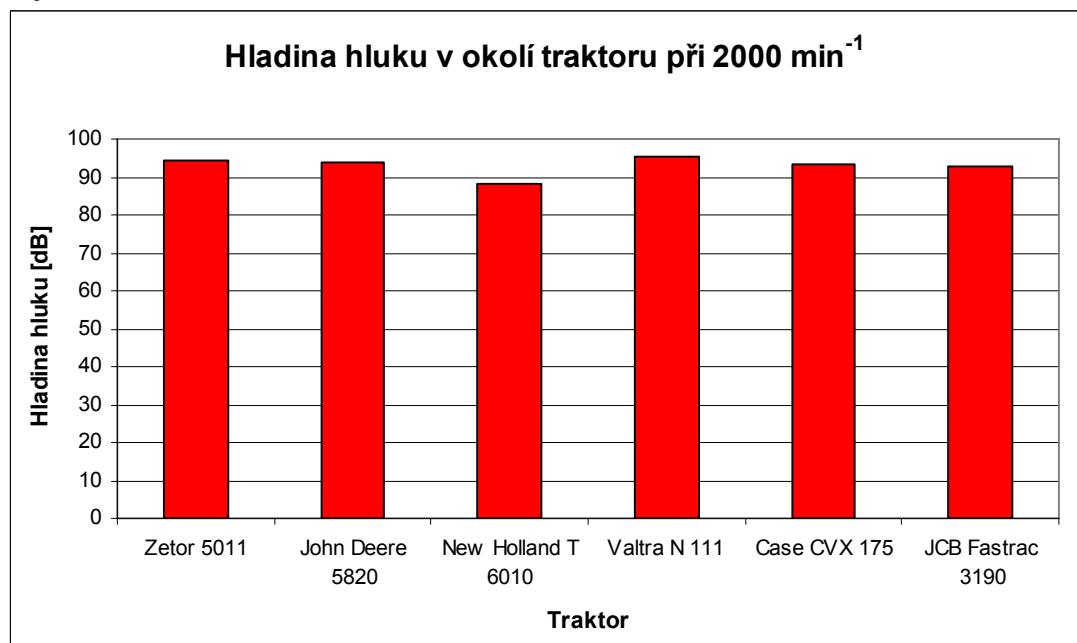


Měření z hlediska hluku v kabině jak při otáčkách 1000 min^{-1} tak při 2000 min^{-1} vyhovovaly všechny stroje. Jak se dalo očekávat, hladina hluku v obou případech měření byla nejvyšší ve staříčkém Zetoru 5011. Avšak stále vyhovoval normě.



Obr.29

Měření z hlediska hluku v okolí traktoru při 1000 min^{-1} dopadlo překvapivě-dva stroje ze šesti již nevyhovovaly normě 89 dB. Překročení nebylo vysoké, u stroje Valtra činilo 0,6 dB, u stroje Case činilo 2,2 dB.



Obr.30

Měření hluku v okolí traktoru při 2000 min^{-1} přineslo zajímavý výsledek-pět ze šesti strojů nevyhovovalo vyhlášce §52, předpis 102/1995 Sb. Nejvyšší překročení normy bylo naměřeno překvapivě u stroje Valtra-o 6,5 dB proti normě 89 dB.



7. Závěr

Počátky vývoje traktoru do podoby, tak jak jej známe teď, byly velmi těžké a vývoj do této podoby trval bezmála celé 20.století. Velký rozvoj protihlukových materiálů, které měli chránit obsluhu před škodlivými účinky hluku začal však až v 80.letech 20.století. Zřejmě nejpodstatnějším požadavkem na protihlukové izolace je co nejvyšší stupeň absorpce zvuku. Ten udává schopnost materiálů změnit zvukovou energii na jiný druh energie. Další důležitá vlastnost požadovaná automobilovým průmyslem je hořlavost, což je snadnost, s jakou se materiál vznítí. Je kladen velký důraz na to, aby materiály byli nehořlavé, případně aby co nejvíce odolávali. Lze konstatovat, že pracoviště zabývající se útlumem hluku jsou v dnešní době, která klade na obsluhu traktoru vysoké požadavky, nezbytnou součástí vývojových středisek výrobců moderních traktorů. Trvalé působení vysoké hladiny hluku totiž vede ke snížení soustředěnosti řidiče traktoru, ke zvětšení únavy, k nesoustředěnosti a dalším zdravotním potížím. Proto je v zájmu zaměstnavatele nakupovat traktory, které jsou z hlediska hygieny hluku na co nejnižší úrovni. Traktory musejí z hlediska hluku splňovat normy, které jsou stanoveny jednotlivými ministerstvy dopravy států, resp. nařízení evropské unie. Z toho vyplývá povinnost výrobců snažit se co nejvíce omezit hluk svých produktů používáním moderních protihlukových materiálů. Tyto materiály se stávají nedílnou součástí kabin, resp. kapotáží. Trendem je používat materiály s dobrým stupněm absorpce hluku, které jsou vysoce odolné proti vlhkosti, proti degradaci stárnutím, které jsou dobře tvarovatelné tak, aby se vytvarovaly do požadovaných tvarů, ohybů, materiály které mají nízkou měrnou hmotnost, tj. materiály lehké, takové, které se dají snadno aplikovat většinou lepením. Další důležitý aspekt je pro výrobce traktorů cena materiálu, která pak ovlivňuje finální cenu traktoru. Materiály, které se v dnešní době používají, jsou většinou vyrobeny na anorganické bázi a lze říci, že za posledních 30 let byl ve vývoji těchto materiálů učiněn značný krok kupředu. Srovnáním 30 let starého stroje s novým (z hlediska hluku v kabině a z hlediska vnějšího hluku) lze tento krok kupředu pozorovat. Z diskuze s řidiči traktorů a z vlastních zkušeností lze říci, že pracovní směna (ať už normální, nebo prodloužená v období sezónních prací) je mnohem náročnější v hlučném prostředí, tj. ve starších typech traktorů, než v méně hlučném prostředí, tj. v novějších traktorech. To vede k tomu, že po pracovní směně (ale i v jejím průběhu) se řidič hlučnějšího traktoru cítí mnohem unaveněji než řidič méně hlučného traktoru. Není to jen otázka hluku, ale i celkové ergonomie stroje, resp. kabiny. Mají-li být shrnuty výsledky vlastního měření, pak lze konstatovat, že hladina hluku v kabině (i v jeho okolí) je úměrná otáčkám motoru, tj. čím vyšší otáčky, tím vyšší hladina hluku.



8. Seznam použitých zdrojů

[1] BAUER, František, et al. *Traktory*. 1.vydání. Praha : Profi Press, s.r.o., 2006. 192 s. ISBN 80-86726-15-0.

[2] DE CET, Miro. *Encyklopedie traktory*. 3.vydání. Dobřejovice : REBO Productions cz, 2006. 299 s. ISBN 978-80-7234-935-7.

[3] *Propagační materiály JOHN DEERE*:John Deere cz, 2008

[4] *Svět poznání*. 2.vydání. Praha : A Dorling Kindersley, 1999. Věda a technika-zemědělské stroje, s. 417-418.

[5] *Předpis 102/1995 Sb.* [online]. Praha : Ministerstvo dopravy ČR, 1995 [cit. 2010-03-22]. § 52 Hluk vozidel, s. . Dostupné z WWW: <http://www.lexdata.cz/web/sb_free.nsf/c12571d20046a0b2c12566af007f1a09/c12571d20046a0b2c12566d400744d19?OpenDocument>.

[6] *Hluk&emise* [online]. 2007. Praha : Gingercandy, 2007, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.hluk.eps.cz/>>.

[7] *Zetor 4011 a 25k* [online]. Praha : Websnadno, 2008, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.zetor4011.websnadno.cz/>>.

[8] *Sbazar* [online]. Praha : Seznam, 1996, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <www.sbazar.cz>.

[9] *Zetor, a.s.* [online]. 2009. Brno : Webprogress, 2009, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <www.zetor.cz>.

[10] *New Holland : Agriculture* [online].New Holland Press kit, 2009, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.agriculture.newholland.com/czech/cz/products/Pages/products.aspx>>.

[11] *Wikipedia : Otevřená encyklopedie* [online].Wikimedia, 2007, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana>.

[12] *Molčík agro s.r.o.* [online]. Valtice : Molčík agro, 2006, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.molcikagro.cz/cs/>>.

[13] *Vestin : Izolační materiály* [online].Graphic design Valenta, 2006, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.vestin.cz/>>.

[14] *Ma-dona s.r.o.* [online]. 2007, 2009 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.ma-dona.cz/>>.

[15] *Dynamat* [online]. 2006, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://dynamat.cz/>>.



[16] *Eurofoam : Acoustics and noise protections* [online]. 2009, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <http://www.eurofoam.at/eng/28_70.php>.

[17] *Sinfo : Polyuretanové polyetylenové pěny* [online]. 2009, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.sinfo.cz/>>.

[18] *Refirma : Plst'ové produkty* [online]. Refirma s.r.o., 2008 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.refima.eu/main.php?lang=sk&action=domov>>.

[19] *Netex : Netkané textilie* [online]. Netex s.r.o., 2008 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <http://www.netex.cz/?utm_source=Adwords&utm_medium=cpc&utm_campaign=netex>.

[20] *Gumotex* [online]. 2006 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.gumotex.cz/vyrobky/pro-automobily/pro-automobily/>>.

[21] *Eurofoam : Technické pěny* [online]. KP design, 2004 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.eurofoam-tp.cz/>>.

[22] *Řempe : Velkoobchod technických materiálů* [online]. 2008 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://pryz.rempo.net>>.

[23] *Tlumení Vibraflex* [online]. 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.audioland.cz/vibraflex/tlumeni-vibraflex-25.html>>.

[24] *Terodem : Samolepicí desky* [online]. 2000 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.udrzba.cz/good.php?goodId=3427/Terodem-SP-300-samolepici-desky>>.

[25] *Sikadamp* [online]. 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.prohifi.cz/tlumici-material/sikadamp-630>>.

[26] *Doromat* [online]. 2009 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.car-multimedia.cz/806-doromat-xs-tlumici-deska.html>>.

[27] *Atron s.r.o. : Struto technologie* [online]. 2008 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.atron.cz/struto.htm>>.

[28] *Odhlučnění : Zkušenosti s odhlučněním* [online]. 2007 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.loganland.cz/LOGAN/Zkusenosti/odhlucneni.html>>.

[29] *Citace* [online]. Webdesign, 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://citace.com/generator.php?druh=7&ukol=1>>.

[30] *Staré traktory* [online]. 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.staretraktory.cz>>.

[31] *Hnutí duha* [online]. 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <http://www.hnutiduha.cz/vitr/index_soubory/hluk.gif>



[32] Greif [online]. 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW:
<http://www.greif.cz/download/molitan-obecne-informace.pdf>

[33] ABUŠINOV, Alexandr. Tepelně tvarovatelné lehké pěny Basotect. *MM spektrum* [online]. 19. července 2007, 2007, 7, [cit. 2010-04-10]. Dostupný z WWW:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/tepelne-tvarovatelne-lehke-peny-basotect>.

9. Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
T	traktory zemědělské nebo lesnické
S	pracovní stroje
M	motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu osob
N	motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu nákladů
atd.	a tak dále
tj.	tj.

10. Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
A	tažnost	[-,%]
D	protiradonová účinnost	[m ² .s ⁻¹]
f	frekvence	[Hz, kHz]
l	tloušťka	[mm]
l _n	přilnavost	[N.cm ⁻²]
L _p	akustický tlak (hodnota hluku)	[dB]
m	hmotnost	[kg, t]
n	otáčky	[min ⁻¹]
R _w	vážená laboratorní neprůzvučnost	[dB]
t	tloušťka	[mm]
T	teplota	[°C]
v	rychlost	[km.h ⁻¹]
α	stupeň absorpce hluku	[-]
ρ	měrná hmotnost	[kg.m ⁻³]
ρ _s	plošná hmotnost	[kg.m ⁻²]
μ _{Qmax}	difúze vodní páry	[g.s ⁻¹]
λ _D	součinitel tepelné vodivosti	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
σ	pevnost v tlaku	[MPa]