

Co je to zvukový mastering ?

Ondřej Urban

*Zvukové studio Hudební fakulty AMU, Malostranské nám. 13, 118 00 Praha 1, ČR
e-mail: urban@hamu.cz*

Abstract

Mastering is the last creative step in sound production and we speak about two types of it: sound mastering and data mastering. The job of sound mastering is to adapt the final sound signal to various and often opposed needs before manufacturing the sound carrier. In present days, there are many of mastering technologies, hardware or software. The most important particular processes are subjective loudness processing, frequency and time domain processing, phase corrections, stereo or multi-channel sound field processing, denoising, declipping etc. Comparison of particular mastering steps and their sound outputs is necessary for well-arranging the whole process algorithm and for the best-sounding result in aesthetical and technical quality of final record. In data mastering, the order of tracks, the pauses and crossfades are made (dramaturgy) and also programming of control subcodes to keep the standard of final sound record.

Úvod

Co je to vlastně mastering? Za mastering hudební (nebo obecně zvukové) nahrávky považujeme poslední tvůrčí krok při její výrobě. Je to vlastně článek řetězu mezi mixáží a výrobou masteru pro duplikaci. Také můžeme říci, že mastering je poslední šancí, jak vylepšit zvukovou a technickou kvalitu nahrávky. Paradoxně je však mastering článkem v celém řetězci nejslabším. Vysvětlení: jde-li nám o to, aby nahrávka „dobře hrála“ a to pokud možno na všech dostupných reprodukcích zařízeních, pouštíme se v podstatě na tenký led. Zaprvé nahrávku, která by byla uspokojivě reprodukovatelná při většině možných poslechových podmínek, nelze nikdy stoprocentně vytvořit. Mastering je uměním kompromisů. Zadruhé, přeceňovat úlohu masteringu může být krátkozraké – masteringu předchází mixáž, při které se vytváří definitivní podoba zvukového obrazu. Představa, že špatný mix vylepšíme kvalitním masteringem je scestná. Nejen, že špatné proporce mixu (poměry mezi jednotlivými nástroji), barevné podání a celkový prostorový obraz těžko vylepšíme i tím nejdokonalejším masteringovým postupem, mnohé nedostatky nahrávky mohou naopak vyniknout a upozornit na sebe v mnohem konkrétnějších obrysech.

O co nám tedy jde při masteringu? O finální podobě nahrávky se v žargonu zvukových mistrů často hovoří jako o „produkčním“ či „našlapaném“ zvuku. Je ovšem potřeba uchopit aparát zvukového masteringu citlivě. Považujeme-li za ideál zvukového snímku v oblasti populární hudby signály, linoucí se z rozhlasových stanic, zejména komerčních, je lépe se masteringu nevěnovat a svěřit tento náročný proces výroby nahrávky odborníkům. Komerčním rozhlasovým stanicím jde především o co největší sledovanost. Tu lze kromě samotné náplně vysílaných relací dosáhnout i co nejvyšším využitím přiděleného vysílacího výkonu FM vysílače z důvodů největšího plošného dosahu stanice. V podstatě zmizí ze signálu veškerá dynamika a signál „jede“ ve své plné amplitudě nepřetržitě bez ohledu na to, vysíláme-li subtilní hudební pasáže, mluvené slovo či plné nástrojové forte. Šikovně zvoleným masteringovým postupem ale lze přesto „ošetřit“ zvukovou nahrávku tak, aby byla imunní proti negativním projevům zpracování dynamiky signálu ve vysílacích procesorech (dýchání šumu, tzv. pumpování atd. – viz. dále), ale i při ostatních reprodukcích podmínkách. Někdy se používá pro takto „očkovanou“ nahrávku z angličtiny převzatý termín „radio-ready sound“, tedy zvuk připraven

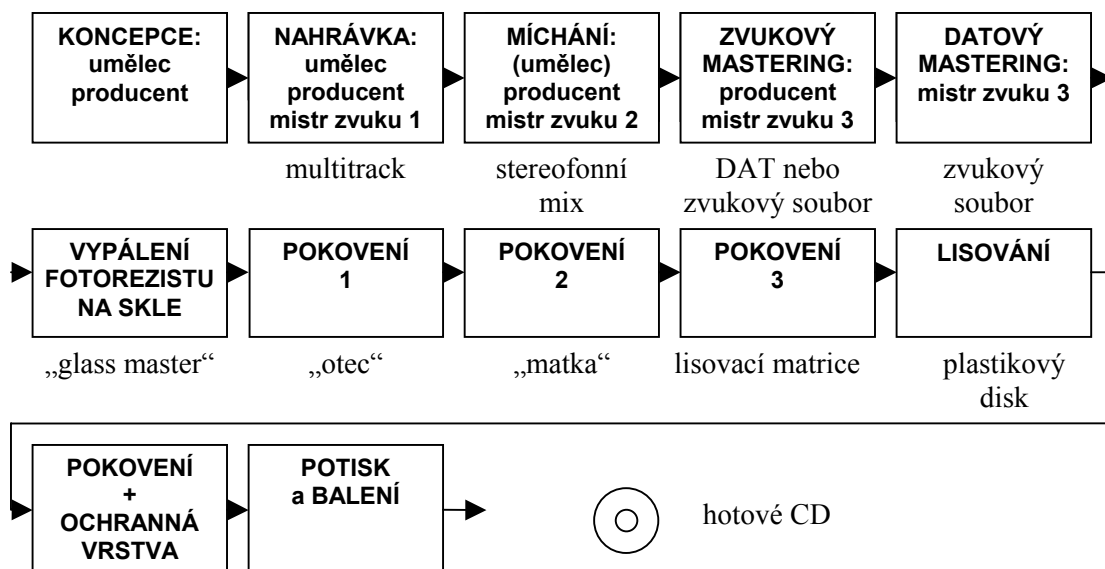
k vysílání. Takovému signálu již drastické vysílací komprese příliš neublíží.

V tomto příspěvku uvedu nejprve stručně řetězec procesů a operací při výrobě kompaktní desky. Dále se podíváme blíže na fázi masteringu a na popis jednotlivých funkčních bloků, které se nejčastěji používají k závěrečným zvukovým úpravám.

Technologie výroby kompaktní desky (CD)

Na obr. 1 vidíme řetězec technologie výroby CD od prvotní koncepční rozvahy nad projektem až po výrobu finální prodejné kopie disku.

Tento obrázek uvádím pouze pro připomenutí, více k technologii CD viz. [1]. V horní části obrázku vidíme řetězec studiových procesů. V rámečcích je uveden vždy název výrobního postupu a kdo se na něm podílí. To, že jsem zvukové mistry očísloval, vychází ze skutečnosti, že mnohdy se deska nahrává, míchá a masteruje na různých pracovištích s různým personálním zajištěním. V případě masteringu je to až na výjimky pravidlem, nahrávací a míchací proces se většinou uskutečňuje na jednom pracovišti.



Obr. 1 Technologie výroby kompaktní desky

Procesy a nástroje zvukového masteringu

Nyní bych rád uvedl výčet nejdůležitějších technologických procesů a jejich funkce při masteringu. Nejedná se v žádném případě o úplný výčet všech v současnosti dostupných prostředků, který by zejména v případě softwarových aplikací vyšel na mnohastránkovou publikaci. Parametry a uživatelský komfort jsou neustále vylepšovány, principy však zůstávají.

Korekční úpravy

Pojem korekčních úprav nahrávky souvisí se zpracováním frekvenčního spektra zvukové informace. To, že zvukový signál vstupuje do masteringu již smíchaný, nám znemožňuje upravit poměry mezi jednotlivými nástroji. Částečně to sice možné je, ale zdůrazňujeme-li např. dominantní složky zpěvního hlasu, zdůrazňujeme tím i složky hudebního doprovodu ve shodném pásmu a naopak. Jde vždy o to, abychom neporušili původní záměr zvukového mistra a producenta, který zodpovídají za mix.

Celé spektrum kmitočtů můžeme rozdělit na oblast základních tónů (fundamentů, 1. harmonických), které určují tónovou výšku zaznamenaných nástrojů. U elektronicky generovaných signálů a také u varhan s pedálovými tóny 32' rejstříků sahají nejnižší kmitočty až na hranici slyšitelnosti (oblast cca kolem 16 Hz – subkontra C). Fundamenty na opačném konci rozsahu končí přibližně kolem 4000 Hz (nejvyšší tón pikoly c5), u varhanních alikvotních rejstříků (1' rejstříky, případně i vyšší) a elektronických zvuků i výše. Zbytek kmitočtového spektra (od základních tónů až k horní mezi slyšitelnosti) představuje oblast alikvotních kmitočtů (vyšších harmonických), které nejsou již ve srovnání se základními tak vydatně zastoupeny, ale jsou nositeli barvy zvuku.

V pásmu nejvyšší citlivosti lidského ucha (přibližně 300 Hz až 4000 Hz) se nachází zejména ve vokální hudbě velmi důležitá informace a to zejména o srozumitelnosti

textu a vůbec dominantní složky hlasového výraziva. Energeticky nejnáročnější je naopak oblast hlubokých kmitočtů (zhruba pod 100 Hz).

Jednotlivé typy kmitočtových korektorů můžeme rozdělit na následující typy:

- **parametrický ekvalizér** – tento typ korektoru bývá často využíván už při mixu na jednotlivých nástrojích, ale i při masteringu je to nejpoužívanější typ korektoru. V praxi se jedná o sestavu několika přeladitelných filtrů typu pásmová propust, kde u každého filtru nastavujeme tři parametry: střední kmitočet, zdvih a parametr Q. Výhodou je např. možnost utlumit úzké pásmo kmitočtů v okolí rezonančních vrcholů zejména basových nástrojů (pro dosažení vyrovnanosti jednotlivých tónových výšek stupnice) nebo naopak zdůraznit pásmo hlasového výraziva. Q parametr je definován jako poměr středního kmitočtu a šířky pásma kmitočtové charakteristiky filtru 3 dB pod jejím maximem. Čím vyšší Q, tím je filtr užší. Nižší nastavení (např. $Q = 0.6$) využijeme pro hladší průběh korekce (zdůraznění určitého pásma) a je ve výsledku více přirozené. Vyšší hodnoty ($Q = 2$ a více) se hodí pro odstranění nechtěných rezonancí v nahrávce.

- **shelving ekvalizér** – ekvalizér typu shelving využíváme pro zdůraznění nebo potlačení všech kmitočtů, ležících pod (low-shelving) nebo nad (high-shelving) nastaveným kmitočtem. Vliv na celkové kmitočtové poměry je zřejmý, neboť pracujeme se zdvihem či potlačením všech kmitočtů mezi zlomovým kmitočtem a zbytkem frekvenčního pásma. Určitou modifikovanou variantou je ekvalizér Q-shelving, vzniklý kombinací shelving filtru a parametrického ekvalizéru. Častou aplikací high-shelving filtru je zdůraznění tzv. „air band“. Jedná se o kmitočty 15 – 20 kHz, tzn. o ty nejvyšší slyšitelné kmitočty. Zdůraznění těchto „vzdušných“ kmitočtů pomůže projasnit nahrávku směrem do výšek a

částečně kompenzuje jednak přirozený pokles citlivosti lidského ucha, za druhé pak kompenzuje nedostatečnou schopnost reproduktorů tyto vysoké frekvence vyzářit (obdoba preemfáze). Pro podobný účinek se mnohdy používá také tzv. Baxandallova křivka (rozdílem oproti shelving filtru je ta skutečnost, že kmitočtový průběh charakteristiky není konstantní v oblasti nad či pod ořezávacím kmitočtem, ale klesá či stoupá s měnitelnou strmostí k okrajům pásma – obdobně je aplikována i funkce loudness na hi-fi zesilovačích.)

- **filtry typu dolní či horní propust** – jedná se o tradiční filtry, kdy zbytek pásma nad/pod daným kmitočtem klesá s definovanou strmostí (dle řádu filtru 6, 12, 18 i více dB/oktávu). Filtr HP uijeme, chceme-li „odříznout“ nežádoucí hluboké kmitočty, vzniklé např. kročejovým hlukem, přeneseným do mikrofonního stojanu, vibrace, rezonance atd. Tyto frekvence totiž nenesou žádnou informaci. Naopak, jedná se o parazitní hluky, které svojí energetickou vydatností (která je „ukryta“ díky omezené citlivosti ucha na dolním okraji pásma) zabírají podstatnou část dynamického rozsahu a omezují tak „headroom“ užitečnému zbytku pásma. Doporučuje se nastavit filtr HP na frekvenci kolem 40 Hz – užitečnému signálu nikterak neublížíme, naopak odstraníme případné stejnosměrné složky, které mohou díky nesymetrii kolem nulové osy zanést do signálu zkreslení. Navíc, psychoakustický aparát lidského slyšení je schopen „dokonstruovat“ chybějící či ztlumenou oblast základních kmitočtů těch nejhlubších basových nástrojů díky rozdílovým tónům. Filtr DP využijeme např. pro potlačení šumu na nejvyšších kmitočtech, zejména nemáme-li k dispozici jiný prostředek pro jeho redukci.

Existuje celá řada hardwarových i softwarových přístrojů pro práci s kmitočtovým spektrem, která uvedené základní typy korektorů různě kombinuje. Všimněme si, že ve výčtu chybí grafický

ekvalizér. Skutečně, tento typ korektoru se v masteringu převážně nevyužívá. Spíše než pro aplikaci do řetězce masteringu jej využijeme pro případné korekce přenosové charakteristiky reproduktorů a poslechové místnosti.

Ještě uvedu poznámku k negativnímu dopadu korekce kmitočtové charakteristiky a tou je fázové zkreslení, zejména u parametrických filtrů s velkým Q. Je to jev, který se v analogové podobě jen obtížně odstraňuje. Fázové zkreslení přímo souvisí se skupinovým zpožděním, takže korigované harmonické složky se vzájemně fázově posouvají. V číslicové technice využijeme např. symetrický filtr typu FIR, který se vyznačuje linearitou fáze. V praxi se však určitému fázovému zkreslení nevyhneme.

Dynamické úpravy

Dynamické úpravy stereofonního signálu můžeme rozdělit na manuální a automatické, případně na jejich kombinace. U manuálních dynamických úprav, ať už se jedná o skutečný pohyb faderů lidskou rukou v reálném čase či interpretaci zaznamenaných změn úrovně dynamiky do tzv. volume (fade) křivek v SW aplikacích, provádíme přizpůsobení dynamiky zpracovávaného signálu požadavkům výsledné hlasitosti a to v závislosti na obsahu informace v daném čase. Jinými slovy, zasahujeme do dramaturgického vývoje úrovně vybuzení v průběhu času. To se hodí např. pro tzv. fade-out na konci skladeb, ale také o zvýšení modulace v tichých pasážích atd. Převážně se takovéto úpravy hodí pro zpracování tzv. makrodynamiky – tedy dlouhodobých změn dynamiky.

V případě automatických dynamických úprav nastavujeme pouze řídicí parametry dynamického procesoru buď staticky, pro celou skladbu či album, anebo je v průběhu masteringu vhodně měníme. Mezi základní dynamické procesory patří kompresor. Jedná se o nelineární elektronický obvod, který

zpracovává mikrodynamiku signálu tak, že signály do určité nastavené úrovně (threshold) zachovává a od určité signálové úrovně je zeslabuje podle nastaveného poměru (vstup:výstup v dB). Podle nastaveného poměru rozlišujeme kompresi mírnou, měkkou (např. 3:1) až po tvrdou limitaci (∞ :1), která tvrdě omezí např. všechny signálové špičky před vstupem do A/D převodníku nebo radiového vysílače. Přejít křivky převodní charakteristiky kompresoru z lineární části se směrnici 1 do části se změněnou směrnici (tzv. koleno - knee) dle kompresního poměru je buď ostrý (hard-knee) nebo pozvolný (soft-knee). Dalšími dvěma parametry kompresoru jsou časy náběhu (attack) a doběhu (release) kompresoru, které umožňují nastavit určitou setrvačnost, jak rychle bude kompresor reagovat po překročení prahové úrovně či po poklesu pod ni.

Pojďme se nyní podívat na některé charakteristické projevy komprese dynamiky. To, o co nám jde, je zvýšit subjektivní hlasitost, neboli snížit dynamický rozsah tak, aby rozdíl mezi nejslabší modulací a špičkou signálu byl co nejmenší. Motivací „produkčního“ zvuku je dostat slabé pasáže zvuku nad hlukové pozadí průměrného poslechového prostředí. Může to být např. automobil, pokoj s pronikajícím venkovním hlukem nebo s jiným hlukovým pozadím. Jistě, souvisí to i s tendencí předložit posluchači takový zvukový signál, aby nemusel neustále „vstávat ze židle“ z důvodů ztlumení silných míst či zesílení slabých. Dynamické poměry ve výrazu jednotlivých nástrojů jsou částečně zachovány díky změně barvy, nicméně ke kompresním úpravám je nutno přistupovat citlivě. Komprese signálu ovlivňuje také tranzienty signálů a tím také jejich ostrost. Je zřejmé, že při rychlém čase náběhu stihne kompresor zareagovat i na krátkodobé přechodové jevy signálů, které, převyšují-li nastavený práh komprese, poklesnou. Mezi další negativní projevy komprese patří zejména tzv. dýchání šumu.

U signálu, který obsahuje parazitní šumové složky na pozadí, dochází při vybuzení užitečným signálem k utlumení dynamiky, klesne i úroveň pozadí a po odeznění užitečného signálu k opětovnému „nadýchnutí“ šumu. Opačným problémem je tzv. pumpování. To nastane, dominuje-li v nahrávce rytmická nízkofrekvenční složka (např. basový buben v soudobé taneční hudbě). Ostatní komponenty signálu jsou ztlumeny nárazově vždy, když přijde dominantní signál. Má to za následek pravidelné tlumení a opětovné zesilování signálu v závislosti na energeticky nejvýdatnějších složkách. Jediným uspokojivým klíčem k řešení tohoto problému je vícepásmová komprese.

Při vícepásmové kompresi je signál nejprve rozdělen do více (nejčastěji 3 – 5) kmitočtových pásem a dále zpracován nezávislými dynamickými procesory. Poté se jednotlivé spektrální složky opět sečtou do výsledného signálu. Problémy s pumpováním a dýcháním se zcela nebo významně odstraní. Vícepásmová komprese je vlastně také korekční úpravou a proto leží ve svém principu v obou skupinách zpracování – korekčních i dynamických úpravách.

Generátory užitečných zkreslení - excitery

Vedle dvou nejpoužívanějších výše zmíněných typů zpracování signálů při masteringu existuje i celá řada dalších, méně či více užitečných. V případě exciterů zanášíme do signálu uměle zkreslení sudými harmonickými složkami, které je uchu přijatelnější, než-li lichými harmonickými. Signál pro zkreslení je odvozen z pásma vyšších kmitočtů a produkt zkreslení přimíchán k užitečnému signálu. Obdobně se chovají obvody s elektronkami. Ne náhodou je mnoho špičkových hardwarových zařízení pro mastering konstruováno s pomocí elektronek, které dodávají zvukovému signálu populární „hřejivost“. Jelikož zanášíme do signálu uměle novou informaci, je vždy nutné citlivě nastavit celkový poměr

přidaného signálu. Nadměrná ostrost některých hudebních signálů vzniklá uměle může být nepřírozená.

Harmonické syntezátory

Obdobně jako v případě exciterů zanášíme do signálu uměle vyšší harmonické složky, v případě syntezátorů harmonických (ultra-bass procesorů atd.) přidáváme nízké složky odvozené od základních frekvencí basových tónů dělením kmitočtu. I zde je nutné pracovat opatrně. Je lépe přidat méně umělých basů, než-li je následně tlumit ekvalizací.

Dozvukové procesory

I při masteringu smíchané nahrávky využijeme často procesory, dodávající umělý dozvuk. Chceme-li umístit výsledný zvukový obraz do virtuálního prostoru či pouze prodloužit zvukovou informaci, nastavíme vhodný poměr přímého/dozvukového signálu tak, aby nedošlo k narušení poměrů mezi jednotlivými nástroji. Je totiž známo, že některé signály jsou proti dodatečnému přidání dozvuku odolnější než např. signály impulsní a perkusivní. Vhodně nastavený dozvuk pomůže „stmelit“ výsledný zvuk a má také určité ekvalizační schopnosti.

Denoising, declipping a declipping

Jedná se o procesy, při kterých potlačujeme nežádoucí rušivé signály, zejména šumy, digitální výpadky, lupance a ostré limitace. Zatímco v případě šumu existuje celá řada samočinných, v reálném čase pracujících algoritmů jeho potlačení, declipping (odstranění výpadků, lupanců a jiných krátkodobých poruch) a declipping (krátce limitované signály) můžeme provést buď ručně (tzv. manuální declipping a declipping) u ojedinelých jevů či automaticky u nežádoucích signálů, které se opakují (např. praskot gramodesky). Nejčastěji uijeme denoising a declipping při remasteringu a rekonstrukci starších archivních nahrávek.

Měření signálových veličin a monitoring

Jako poslední z uvedených procesů masteringu uvádím ještě pomocné nástroje, které mohou více či méně usnadnit sledování veličin zpracovávaného signálu v jeho průběhu. Nejdůležitější z nich je měření signálové úrovně buď pomocí PPM (Peak Program Meter), které je důležité zejména při buzení A/D převodníků. Dalším důležitým měřičem je VU meter, který měří efektivní hodnotu signálu a jeho výchylka souvisí více se subjektivní hlasitostí než s absolutní signálovou úrovní.

Mezi ostatní měřiče a ukazatele patří stereofonní korelátory, spektrální analyzátoři, měřiče zkreslení, spektrální hustoty apod.

Na závěr zmíním článek masteringového řetězu snad nejpodstatnější – monitoring. Volba a optimalizace poslechových podmínek hraje důležitou roli pro závěrečnou kontrolu masterované nahrávky. Nezapomeňme, že zvukový mistr masteringu je posledním člověkem, který slyší celou nahrávku jako poslední z celého produkčního týmu. Případné závady, interference či rušivé signály ve zvuku, které by snad přehlédl, jsou nevratné a objeví se záhy v celé sérii lisovaných desek. Je to velký díl odpovědnosti a v praxi bývá snižen tím, že desku na závěr poslouchá více lidí.

Ať už je organizace závěrečného poslechu a kontroly kvality jakákoli, je kvalitní poslech nezbytnou součástí profesionálního masteringu. Kromě téměř ideálně čistého poslechu by měla být k dispozici i možnost alternativního přes různé verze komerčních reprodukčních zařízení. Jen málokdo z posluchačů bude mít k poslechu desky takové podmínky, jako měl produkční tým, takže k dispozici by měl být poslech přes malé reproduktory z plastu i monofonní monitoring pro ověření, jak bude nahrávka znít např. z TV. Je jasné, že všem potenciálním možnostem poslechu se nezavděčíme, nicméně kontrola „kompatibility“ nahrávky pro různé úrovně

kvalit se hodí. Také kontrolní poslech na sluchátka má svou důležitou roli.

Závěr

V tomto příspěvku jsem se pokusil shrnout důležitá fakta a nastínit problematiku týkající se masteringu hudební nahrávky. Výčet zmíněných procesů není v žádném případě vyčerpávající. V čistě digitálním zpracování v DAW (Digital Audio Workstation – pracovní stanice pro zpracování zvukových signálů) je k dispozici mnoho programů a plug-in modulů pro známé aplikace, vyhrazených pro mastering. To, že je zde záměrně neuvádím neznámá, že bych neviděl perspektivu vývoje právě směrem maximální integrace „all-in-one.“ Je ale na druhou stranu pravda, že většina zvukových mistrů, kteří mají na svědomí mnoho úspěšných nahrávek světové populární hudby dává dodnes (a asi tomu ještě nějaký čas bude) přednost kombinací analogového hardwaru, kvalitních A/D a D/A převodníků a různých specializovaných procesorů pro mastering.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen z finančních prostředků “Specifický výzkum” pro rok 2004.

Literatura

- [1] BAŠTA, I. *Zpracování a záznam signálu*. ČVUT, Praha, 1994.
- [2] SYROVÝ, V. *Hudební akustika*. HAMU, Praha, 2003.
- [3] KATZ, B. *Mastering Audio: The Art and the Science*. Focal Press, New York, 2002.
- [4] BORWICK, J. (editor) *Sound Recording Practice*. Oxford University Press, New York, 1994.