

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra chemie**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv nádob použitých při zrání na organoleptické  
vlastnosti alkoholických nápojů**

**Bakalářská práce**

**Eliška Plecítá**

**Kvalita potravin a zpracování zemědělských produktů  
prezenční**

**Ing. Karel Štěrba, Ph.D.**

© 2023 ČZU v Praze



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Vliv nádob použitých při zrání na organoleptické vlastnosti alkoholických nápojů“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21. 4. 2023

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce – panu Ing. Karlu Štěrbovi, Ph.D., za potřebné rady a trpělivost. V další řadě bych chtěla poděkovat rodině a kamarádům, kteří mi při psaní byli oporou a zlatavé jiskře whisky, která mi byla inspirací pro zvolené téma.

# Vliv nádob použitých při zrání na organoleptické vlastnosti alkoholických nápojů

## Souhrn

Snahou této práce bylo určit, zdali jsou dubové sudy oprávněně tou nejlepší volbou pro zrání alkoholických nápojů. Pro potvrzení nebo vyvrácení tohoto tvrzení byly v práci shrnuty pro zrání důležité vlastnosti dubu jako materiálu, společně s fázemi výroby sudu, které ovlivňují dopad této nádoby na organoleptickou stránku budoucího nápoje. Zahrnuje také popis sensoricky nejzajímavějších látek dřeva (například whisky laktonů) a jejich interakcí se stařenou tekutinou. Dále práce přiblížila možnosti využití méně obvyklých dřevin, jako je například morušovník, a nedřevěných materiálů, jako alternativní cestu pozvednutí kvality alkoholického nápoje. V poslední řadě je popsáno použití dřevěných fragmentů, jejichž sensorický dopad co by „ochucovadla“ dosud není zcela prozkoumán, stejně jako potenciální využití dřevěných prášků.

Ověřením všech výše zmíněných aspektů bylo zjištěno, že škála typů prostředí zrání je pestrá, stejně jako organoleptické vlastnosti alkoholických nápojů v nich dospívajících. Alternativní zrací nádrže poskytují mnohé pozitivní vlastnosti a přibližují se tak klasickým sudům, ty však není možné zcela nahradit. Nelze jednoznačně určit obecně nejlepší typ nádoby na zrání. Je spíše třeba věnovat dostatečnou pozornost jak vlastnostem materiálu nádoby, tak i vstupním surovinám a snažit se o jejich co možná nejlepší soulad. Jde tedy o množství různých kombinací, vyžadujících individuální přístup.

**Klíčová slova:** dřevěné sudy, dub, polyfenoly, staření, víno, whisky

# Influence of the containers used for ageing on the organoleptic properties of alcoholic beverages

## Summary

The aim of this work was to determine whether oak barrels are rightly the best choice for the maturation of alcoholic beverages. In order to confirm or refute this claim, the paper summarised the characteristics of oak as a material that are important for ageing, together with the stages of cask production that influence the impact of this container on the organoleptic aspect of the future beverage. It also includes a description of the most sensorially interesting substances of the wood (such as whisky lactones) and their interactions with the aged liquid. Furthermore, this thesis presented the possibilities of using less common woods, such as mulberry, and non-wood materials as an alternative way of elevating the quality of an alcoholic beverage. Finally, the use of wood fragments is described, the sensory impact of which as "flavouring agents" has not yet been fully explored, as well as the potential use of wood powders.

Verification of all the above aspects revealed that the variety of types of maturation environments is wide-ranging, as are the organoleptic characteristics of the alcoholic beverages maturing in them. Alternative maturation tanks offer many positive characteristics and are thus closer to conventional barrels; however cannot be completely replaced. It is not possible to clearly identify the best type of maturation vessel in general. Rather, it is necessary to pay sufficient attention to the properties of both the material of the container and the input material and to try to match them as closely as possible. So there are many different combinations, requiring an individual approach.

**Keywords:** wooden barrels, oak, polyphenols, aging, wine, whisky

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Dřevo jako materiál</b> .....	<b>11</b>
3.1.1 Anatomie dřeva .....	11
3.1.2 Zrnitost.....	13
3.1.3 Pórovitost.....	13
3.1.4 Sensorický potenciál dřeva .....	14
<b>3.2 Výroba sudu</b> .....	<b>15</b>
3.2.1 Sušení.....	15
3.2.2 Vypalování.....	18
3.2.3 Finální úprava sudu .....	21
<b>3.3 Oakscan</b> .....	<b>21</b>
<b>3.4 Před prvním použitím sudu</b> .....	<b>22</b>
<b>3.5 Interakce sudu s nápojem</b> .....	<b>22</b>
3.5.1 Mikrooxygenace.....	23
3.5.2 Vyluhování látek .....	24
3.5.3 Reakce mezi složkami dřeva a kyslíkem .....	26
3.5.3.1 Oxidační reakce .....	26
3.5.3.2 Esterifikační reakce .....	26
3.5.3.3 Polymerační reakce .....	27
3.5.4 Odpařování látek.....	28
<b>3.6 Vliv stáří a předchozího použití sudu</b> .....	<b>29</b>
<b>3.7 Látky dřeva ovlivňující sensorickou stránku zrajících nápojů</b> .....	<b>30</b>
3.7.1 Polyfenoly .....	31
3.7.1.1 Fenolické kyseliny.....	32
3.7.1.2 Těkavé fenoly .....	33
3.7.2 Dubové laktony .....	33
3.7.3 Furanové látky .....	34
3.7.4 Pyrroly a pyraziny.....	34
<b>3.8 Druhy dřevin pro zrání alkoholických nápojů</b> .....	<b>35</b>
3.8.1 Dubové dřevo.....	35
3.8.2 Alternativní dřeviny .....	37
3.8.2.1 Trnovník akát ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.).....	37

3.8.2.2	Kaštanovník jedlý ( <i>Castanea sativa</i> Mill.) .....	37
3.8.2.3	Jasan ztepilý ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.) .....	38
3.8.2.4	Třešeň ( <i>Prunus</i> sp.).....	38
3.8.2.5	Morušovník ( <i>Morus</i> sp.) .....	39
<b>3.9</b>	<b>Alternativní materiály zrcích nádob.....</b>	<b>39</b>
3.9.1	Keramika .....	40
3.9.2	Žula.....	41
3.9.3	Beton.....	41
<b>3.10</b>	<b>Dřevěné fragmenty .....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>47</b>



# 1 Úvod

Když se použije spojení „zrání vína“, „zrání whisky“ nebo jiného destilátu, asi nejčastěji a oprávněně si každý vybaví obraz sudů vyrovnaných ve sklepě v řadě či v pyramidách. Dřevěné dubové sudy jsou totiž jedněmi z nejstarších nádob pro uchovávání (nejen) vína. Během výrobního procesu se uplatňují především ve fázi zrání, kdy mají produktu zajistit přitažlivější sensorické vlastnosti. To tento typ materiálu zajišťuje zejména svou pórovitostí a schopností uvolňovat do stařené tekutiny různorodé látky. Potenciál extrahovatelných látek se však může během výroby sudu velmi změnit, zejména při tzv. toastingu, kdy se díky tepelné degradaci přeměňují stavební látky dřeva na sensoricky přínosné a zajímavé sloučeniny. Tímto zásahem se například zvýší množství dubových laktonů, klíčové složky aroma whisky, rumu, brandy a podobných destilátů.

Sloučeniny nápoje a dřeva spolu interagují za přiměřeně nízkého oksyločeni, což má za následek zvýšení intenzity a komplexnosti chuti produktu. Jedněmi z nejdůležitějších látek přestupujících ze dřeva jsou například ellagitaniny, což je skupina tříslovin, které dodávají trpkost a podílejí se na stabilizaci barvy tekutiny. Zráním, které trvá několik měsíců až let, může kromě lepších organoleptických vlastností nápoj získat i některé zdravotně ochranné vlastnosti, jako například zvýšení antioxidační aktivity nebo antikarcinogenní účinky (Zhang et al. 2015).

Vedle zmíněných výhod však dřevěné sudy mají i určité nevýhody (např. vysoké nároky na údržbu i finanční prostředky). Proto se v současné době experimentuje s různými jinými druhy zracích nádob, nejen co se týče druhů dřevin, ale i různých alternativních materiálů, jako je například beton, polyethylen či keramika. Takové materiály často nejsou schopny nápoj obohacovat zlepšujícími látkami a někdy ani kyslíkem, disponují ale výhodami, které dřevěné sudy mít nemusí, například lehká manipulace a chemická inertnost.

Absence extrahovatelných látek dřeva a s nimi spojené sensorické kvality se v dnešní době dají zčásti navodit přidáváním dřevěných fragmentů, což jsou produkty určené k dodávání typického sudového charakteru vyžrávaným tekutinám, zejména v nádobách, které toho nejsou schopny. Jde o aspekt, který dosud není zcela prozkoumán, stejně jako potenciální využití dřevěných prášků, které se jeví jako technologicky zajímavý krok.

Kromě dubových sudů dnes existuje mnoho jiných nádob, s různými vlastnostmi. Společně s různorodostí vyžrávaných alkoholických nápojů tak vzniká nespočet kombinací, které dávají vznik unikátním organoleptickým vlastnostem produktů. Ne všechny kombinace jsou však vhodné a nesprávně využitý potenciál obou složek může kvalitu výsledného produktu významně zhoršit (tzv. pohřbít).

## **2 Cíl práce**

Cílem této práce bylo dle dostupných aktuálních zdrojů zpracovat literární rešerši na téma vliv nádob použitých při zrání, zejména dřevěných sudů, na organoleptické vlastnosti alkoholických nápojů a tedy jejich kvalitu.

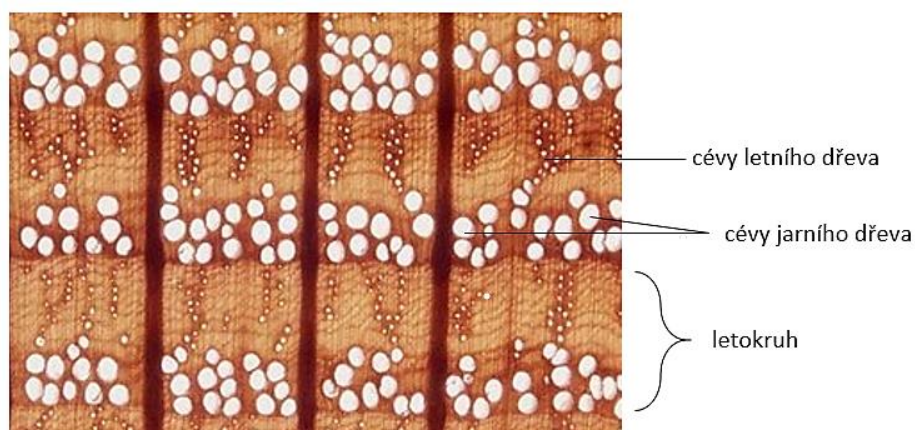
## 3 Literární rešerše

### 3.1 Dřevo jako materiál

#### 3.1.1 Anatomie dřeva

Aby bylo možné pochopit interakci dřevěné nádoby a tekutiny v ní vyzrávané, je třeba obecně přiblížit anatomii dřeva, přesněji kmene. Na průřezu kmene stromu se nachází dvě hlavní zóny, respektive tři. Světlejší vnější zvaná běl a tmavší uprostřed plochy zvaná jádro. Právě jádrové dřevo se v bednářství a tedy i ve výrobě sudů využívá. Mezi těmito částmi se nachází ještě tenká zóna přechodná. Běl je vrstva mladších letokruhů s aktivními buňkami a rezervními materiály, které se podílejí na vedení mízy a obecně životních pochodech stromu, zatímco jádro je charakterizováno staršími letokruhy s buňkami neaktivními, kde byly dříve uložené rezervy odstraněny nebo přeměněny. Při přeměně bělu na jádrové dřevo dochází v přechodné zóně k biosyntéze vedlejších fenolických produktů, které jsou při zrání nápojů podstatné. Tyto chemické změny mají podle nejnovějších důkazů za následek také změny v molekulární struktuře a složení polysacharidových a ligninových sloučenin. U tvrdých dřevin, jako je dub, jsou polysacharidy hojnější v bělu, zatímco produkty pyrolýzy ligninu a extraktivní látky jsou relativně hojné právě ve využívaném dřevě jádrovém (Traoré et al. 2023).

Listnaté stromy mají oproti jehličnanům složitý dřevinný plán. Anatomická a strukturní rozmanitost dřeva je dána velkou rozmanitostí v povaze a uspořádání buněk kambia, jehož dělením roste průměr kmene. V odstředivém směru tvoří kambium tkáň, v níž cirkuluje míza, v dostředivém vytváří xylém, který je tvořen vodivými cévami a podpůrnými vlákny. Mladý xylém (5 až 10 let) se nazývá nedokonalé dřevo. Po zpevnění starších vrstev vzniká již zmíněné jádrové (dokonalé) dřevo, které je tvořeno kombinací odumřelých tkání bohatých na lignin a zesílených stěn napuštěných tříslovinami (Vivas et al. 2019). Každý rok vytvářená vrstva dřeva se nazývá letokruh, přičemž roční přírůstek není během vegetačního období pravidelný. Na začátku cyklu se tvoří světlé jarní dřevo z velkých na vodu bohatých tenkostěnných buněk a velkých hustě uspořádaných cév, které má celkově nižší hustotu a je citlivější na tepelnou degradaci. Později se tvoří dřevo letní, jehož buňky jsou naopak tlustostěnné, menší, s vyšší hustotou a tvrdostí a převážně s vlákny s několika roztroušenými malými cévami (Tsoumis 2022). Pro lepší představu je přiložen Obrázek 1. Na průměrné šířce a pravidelnosti letokruhů je založena koncepce zrnitosti (viz kapitola 3.1.2). Pokud jsou letokruhy pravidelné, hovoří se o dřevě s homogenní kresbou. Dalším popisným pojmem je textura dřeva, která je definována jako podíl letního dřeva na celkové šířce kruhu (Vivas et al. 2019).



Obrázek 1. Struktura jarního a letního dřeva dubu na příčném řezu (Upraveno dle: Tsoumis 2023)

Dubové dřeviny používané k výrobě sudů jsou vybírány pro svou intenzivní schopnost vytvářet thyly, tedy výrůstky parenchymu do vnitřního prostoru cév (Roussey et al. 2022). Jsou to vlastně zátky tvořené různými rostlinnými materiály, které vznikají hlavně při přeměně bělu na jádro a které cévy tvrdého dřeva ucpávají (Tsoumis 2022). Díky nim a inkrustacím nejsou póry dřeva plně prostupné pro plyny, čehož je při zrání nápojů využíváno (Roussey et al. 2022). Některé druhy dřevin jsou na thyly obzvláště bohaté (např. akát), a jsou tak mnohem méně propustné než dub. Přítomnost ligninů také přispívá k vodotěsnosti. I evropské duby [*Quercus robur* L. a *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.] patří mezi stromy s nízkou propustností, protože jsou u nich thyly taktéž obvyklé (Vivas et al. 2019), více u amerického dubu bílého. Lze říci, že struktura dřeva u druhů rodu *Quercus* obecně vykazuje velké rozdíly ve velikosti buněk i jejich uspořádání (Alamo-Sanza et al. 2016).

Čím vyšší je podíl pozdního (letního) dřeva, tím vyšší je jeho celková hustota. S hustotou dřeva roste rychlost difuze kyslíku. Na tuto přenosovou schopnost dubového dřeva má vliv mnoho jeho vlastností. Zdá se však, že thyly časného dřeva přenos silně snižují. Lze předpokládat, že velký počet cév v raném dřevě vede k nižší hustotě thyl, což prostup kyslíku usnadňuje. Obecně lze tedy říci, že kinetika difuze kyslíku závisí i na šířce letokruhů a poměru letního a jarního dřeva (Roussey et al. 2022). Hustota dřeva také ovlivňuje množství vlhkosti, které je schopno jako hygroskopický materiál pojmout, a tím i jeho smršťování a bobtnání a jeho mechanické a další vlastnosti. Čím vyšší je hustota dřeva, tím více je schopno měnit tvar, protože hustší dřevo obsahuje v buněčných stěnách více vlhkosti. Extraktivní látky naopak tyto pohyby snižují, protože obsazují prostory v buněčných stěnách, které by jinak mohla obsadit voda (Tsoumis 2022).

Kostru dřeva tvoří celulóza, která je většinou soustředěna v sekundární buněčné stěně, lignin se naproti tomu vyskytuje ve vrstvě, která odděluje stěny sousedních buněk. Kvantitativně jsou celulóza a ostatní chemické složky ve tvrdých dřevích obsaženy v těchto poměrech (v % hmotnosti suchého dřeva): celulóza 40 – 50 %, hemicelulóza 15 – 35 %, lignin 17 – 25 % a pektinové látky jen v zanedbatelném množství. Kromě těchto látek dřevo obsahuje extraktivní látky (trísloviny, pryskyřice, vosky, gumy, tuky, oleje, cukry, škroby a alkaloidy) v různém množství (obvykle 1 – 10 %, ale někdy i 30 % a více). Vzhledem k rozdíům ve složení a uspořádání buněk se struktura dřeva u jednotlivých druhů liší. Tyto rozdíly ovlivňují vlastnosti

dřeva a umožňují široký výběr této suroviny i pro bednářské účely. Rozdíly existují také mezi stromy stejného druhu (vlivem prostředí a genetických vlivů) i mezi stromy jednotlivými (Tsoumis 2022).

### 3.1.2 Zrnitost

Výběr dřeva v bednářství je založen na koncepci zrnitosti, která je charakterizována jako šířka ročního přírůstku stromu (Alamo-Sanza et al. 2016), může být ale také definována jako „vizuální dojem z velikosti dřevěných prvků, zejména cév“. Tento pojem je velmi důležitý z hlediska klasifikace kvality dřeva nejen pro výrobu sudů. Francouzská normalizace rozdělila veškeré dřevo do dvou kategorií. Rozlišuje dřevo jemnozrné (homogenní), jehož cévy jsou malé a pouhým okem málo viditelné (např. buk, topol a hruška), a dřevo hrubozrné (heterogenní), jehož cévy jsou poměrně velkých rozměrů a tedy zřetelné (dub, kaštan, akát, jasan). Dřevo dubů využívaných pro výrobu sudů, jako jsou *Quercus robur* L. a *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., je heterogenní. V případě bednářství byla třída hrubozrného dřeva rozdělena u dubů na jemnozrné, středně zrné a hrubozrné. Lze také rozeznat typ Limousin (hrubá/otevřená zrnitost) se silným ročním přírůstkem a silnou vrstvou letního dřeva a typ Allier (těsná zrnitost) s tenkými ročními vrstvami (Vivas et al. 2019). Jemná nebo velmi jemná zrnitost odpovídá dřevu s pomalým růstem (roční přírůstek 1 – 2 mm) nebo velmi pomalým růstem (roční přírůstek <1 mm) (Alamo-Sanza et al. 2016).

Rychlost růstu stromu zde hraje důležitou roli, určuje totiž zrnitost a souvisí s pórovitostí a tedy s oxidačním potenciálem (Vivas et al. 2019). Čím je růst pomalejší, tím je zrnitost jemnější a hustota vyšší a dochází tak k rychlejšímu přenosu kyslíku. Vztah mezi těmito znaky je pravděpodobně složitější, protože difuze kyslíku se značně liší mezi různými anatomickými prvky: jarním a letním dřevem, thylami a typem a orientací dřeňových paprsků (Alamo-Sanza et al. 2016).

Rychlost růstu stromu ale ovlivňuje i složení dřeva. Dřevo s většími zrny je sice bohatší na extrahovatelné sloučeniny a ellagitanniny, ale je chudší na aromatické sloučeniny, jako je eugenol a izomery  $\beta$ -methyl- $\gamma$ -oktalaktonu. Volba velikosti zrna tedy souvisí s těkavým a fenolickým složením dubového dřeva a ovlivňuje zrání vín a lihovin (Sánchez-Gómez et al. 2020).

### 3.1.3 Pórovitost

Zrnitost ovlivňuje pórovitost dřeva. Rozlišujeme prvky s axiální pórovitostí (vlákna, cévy), méně důležité prvky s pórovitostí tangenciální (paprskovité buňky), a spojovací prvky mezi těmito různými tkáněmi, které vzhledem k jejich počtu a velikosti představují významný zdroj pórů (Vivas et al. 2019). Právě pórovitost je při vyzrávání alkoholických nápojů důležitou vlastností, jelikož vzduch, který se do tekutiny dostane prostřednictvím pórů dřeva, modifikuje sensorické vlastnosti tohoto nápoje. U vína např. může přispět ke stabilizaci jeho barvy.

Přestože je dubové dřevo porézní materiál, má celkově relativně nízkou propustnost. Množství přeneseného kyslíku se může lišit podle mnoha parametrů. Větší tloušťka stěny sudu přenos zpomaluje, stejně jako vyšší vlhkost dřeva. Výsledky francouzské studie ukazují, že čím je dřevo vlhčí, tím je méně porézní, což je pro enologii nesporná výhoda. Pórovitost suchého dřeva totiž představuje velmi vysoký přísun kyslíku, který by již nebyl vhodný pro několikaměsíční zrání (Vivas et al. 2019). Ve vysušeném stavu má letní dřevo vyšší propustnost než dřevo jarní, to se ale snadněji smáčí, protože je pórovitější.

V propustnosti kyslíku dále hraje důležitou roli mikrostruktura dřeva. Ačkoli se propustnost pro plyn u porézních materiálů často považuje za konstantní, v případě heterogenních materiálů, jako je dřevo, tomu tak není. V rámci jednoho druhu se vyskytují značné rozdíly mezi jednotlivými stromy (Alamo-Sanza et al. 2016). Navíc k rozdílům přispívá teploty při zpracování nebo příliš rychlé vysychání během výroby sudu, jelikož tak mohou zejména v paprscích dřeva vznikat malé trhliny, které zvyšují propustnost materiálu (Roussey et al. 2021). Dřevo s velmi hustou strukturou umožňuje vyšší přenos kyslíku. Výběr sudů s různou zrnitostí tak může významně ovlivnit intenzitu oxidace, kterou vína i lihoviny během zrání procházejí. Sudy dříve využívané pro zrání několika vín mají výrazně sníženou rychlost přenosu kyslíku. Experimentálně bylo zjištěno, že po 10 letech používání sudu dosahuje přenos kyslíku pouze 10 – 50 % hodnot oproti stejným novým sudům (Vivas et al. 2019).

#### **3.1.4 Senzorický potenciál dřeva**

Od různorodé anatomie použitého dřeva se odvíjí i odlišný dopad na organoleptické vlastnosti budoucího nápoje. Hrubozrnná dřeva například uvolňují více fenolických látek než jemnozrnná, která je uvolňují pomalu a pravidelně po řadu let. Pokud se použije nedostatečně husté dřevo pro staření méně jemného tříslovinového vína, dojde ke zvýraznění jeho svíravosti. Volba hustšího dřeva by tedy byla vhodnější, jelikož uvolňuje tříslovin méně (Michlovský & Khafizova 2017b).

Složky uvolňující se ze dřeva do stařené tekutiny se nazývají „extrahovatelná frakce“ a představují přibližně 10 % hmotnosti suchého dřeva. Jde o sloučeniny rozmanité povahy. Některé z nich jsou původcem mnoha zajímavých organoleptických vlastností produktu, což někdy vede vinaře k tomu, že stále častěji používají dřevo v celém procesu výroby. Nejhojněji zastoupené jsou ellagitanniny, tedy frakce tříslovin, ale existují i další s odlišnou chemickou strukturou, jako jsou těkavé sloučeniny a nízkomolekulární fenoly (Martínez-Gil et al. 2022a). Ve dřevě se dále vyskytují například deriváty fenolů, jako 4-vinylfenol a 4-ethylfenol, které mohou tekutině dodávat kouřové tóny, nicméně tyto sloučeniny se ve významném množství nepřenášejí během zrání do směsi vody a ethanolu (Neanorov 2019). Těkavé sloučeniny mají velký sensorický význam, protože přispívají mimo jiné k aroma vanilky, mandlí, kokosu, sladkosti, dřeva, koření nebo uzeného a zvyšují jeho komplexnost. Vyjma dubu se tyto těkavé látky nacházejí i v alternativních dřevinách využívaných v bednářství. Jejich koncentraci ve dřevě a následně i ve zrající tekutině ovlivňuje řada faktorů, přičemž jedním z nejdůležitějších je opékání dřeva, ale může to být i jeho sušení

nebo lesnické ošetření stromů (Martínez-Gil et al. 2022a). Látek, které se během zrání vyluhují ze dřeva a pozměňují senzorické vlastnosti vína nebo lihovin je velké množství, proto je třeba přiblížit je detailněji (kapitola 3.7).

## 3.2 Výroba sudu

Dřevo při výrobě sudů podstupuje různé operace, díky kterým je schopné tekutiny v nich stažené obohatit o různorodé látky, které se promítají do výsledných organoleptických vlastností nápoje. Celá výroba dřevěného sudu začíná výběrem vhodného stromu. Dřeviny mohou být různé, nejčastěji jsou využívány ty s tvrdým dřevem, jelikož se vyznačují dlouhou životností a vysokou pevností. Takové vlastnosti má například dřevo akátu. Nejvíce se však při zrání nápojů uplatňuje dřevo dubové (Burg & Zemánek 2022b). Pro výrobu sudů se využívá jádrové dřevo, tedy to ve středové části kmene, jelikož se vyznačuje tvrdostí a odolností vůči hmyzu a houbám. Obsahuje množství nízkomolekulárních látek a jeho strukturu tvoří 3 skupiny pletiv, kterými jsou vlákna, buňky parenchymu a medulární paprsky, a vodivé cévy (Michlovský & Khafizova 2016b).

Jak bylo zmíněno výše, nejčastější surovinou pro výrobu sudů je dřevo dubu. Existuje více než 600 různých druhů, ale při zrání vína i destilátů se využívá především dvou: *Quercus alba* L. (americký dub) nebo *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. (evropský dub). Výběr závisí na požadovaných aromatických a chuťových vlastnostech budoucího produktu, neboť každý druh je specifický svým složením. Mezidruhové odlišnosti se týkají také anatomie dřeva, od kterých se mohou odvíjet nuance během bednářského zpracování (Alamo-Sanza et al. 2016).

Začátkem procesu se kmen pokáceného stromu na pile zpracuje štípáním nebo řezáním na dlouhé tenké pásy, na tzv. patky/dužiny/dýhy, ze kterých se sud skládá (Albrecht 2017). Dřevo francouzských dubů musí být štípáno ve směru vláken na desky, ze kterých se následně nařežou dýhy. Tento proces je složitější a bývá spojen s vyšší ztrátou materiálu, je zde nicméně nezbytný. V opačném případě by mohlo docházet k únikům vína prostřednictvím nyní navenek otevřených cév. Naproti tomu americký dub bílý má podélné cévy (thyly) přirozeně utěsněné, a k únikům tedy nemůže docházet (Michlovský & Khafizova 2016b). Dle zvoleného postupu a morfologie kmene se z jednoho stromu obvykle získá materiál až na tři sudy. Dřevo v této fázi obsahuje až 60 % vody, a proto je zapotřebí nechat ho nejprve vyschnout (PoznejWhisky 2020).

### 3.2.1 Sušení

Aby byl materiál sudu dostatečně mechanicky odolný a nepraskal, je třeba zajistit rovnováhu vlhkosti dřeva a okolního prostředí. V oblastech mírného klimatu to znamená přibližně 14 – 18 % (Michlovský & Khafizova 2016b). Fáze sušení (seasoning) tedy slouží ke snížení počáteční vlhkosti dřeva, navíc ale zamezí případným drsným senzorickým

vlastnostem budoucího produktu prostřednictvím řady reakcí. Vlivem povětrnostních podmínek dochází například ke ztrátě vodorozpustných fenolových látek (ellagitaninů), což přímo souvisí se snížením hořkosti, trpkosti a zároveň se zvýšením obsahu některých aromatických látek (Sánchez-Gómez et al. 2020).

Dvěma základními postupy jsou sušení umělé a přirozené, které je v bednářství nejrozšířenější. Přirozené sušení probíhá na čerstvém vzduchu a různými způsoby ovlivňuje aromatické sloučeniny dřeva (mimo jiné laktony, fenolové aldehydy nebo těkavé fenoly). Některé z nich zvyšují jejich koncentraci, zatímco jiné ji snižují nebo nevykazují žádné výrazné rozdíly před a po sušení (Sánchez-Gómez et al. 2020). Na rozsah extrakce aromatických látek má vliv proces výroby sudu. Například teplota sušení řídí přírůstek sloučenin jako je vanilin, eugenol nebo dubový lakton, zvláště v horkých oblastech se zvyšuje hladina aromatických aldehydů (Michlovský & Khafizova 2016a). Figuruje zde však i jiné faktory. Zkoumáním vlivu zeměpisné polohy růstu stromu na aroma sušeného dřeva a bylo zjištěno, že největší vliv na obsah aromatických sloučenin ve dřevě má nadmožská výška. Vyšší polohy a půdy s jílovitou texturou vykazovaly nižší koncentrace některých těkavých látek obsažených ve dřevě (Martínez-Gil et al. 2022a).

Přirozené sušení je dlouhý proces, který dle tloušťky dužin trvá několik měsíců i let (viz Obrázek 2). Probíhá ve venkovním prostředí a uvádí se, že za rok postupuje materiálem o 10 mm. V prvních 10 měsících probíhá intenzivní dehydratace, po které přichází „vyzrávání dřeva“. To zlepšuje vlastnosti mechanické, aromatické i chuťové. Tento vývoj však neprobíhá stejnoměrně ve všech částech sušeného dřeva. Po jeho stranách například dochází vlivem deště k vyluhování látek, zatímco střed je nedotčen. S délkou sušení se na dřevě množí mikroorganismy, jejichž enzymy také zasahují do utváření kvality materiálu (např. *Aureobasidium pullulans*, *Trichoderma dominii*) a jejich prostřednictvím může dojít například ke ztrátám vonných sloučenin. Z pohledu fenolické skladby dochází při přirozeném sušení ke snížení pozdější vyluhovatelnosti barvy a svíravosti. Především se jedná o monomery a oligomery rozpustné ve vodě. Obsah polymerů ve vodě nerozpustných klesá jen v případě, že doba sušení překročí 3 roky. Tento pokles vyluhovaných sloučenin, především ellagitaninů, je způsoben oxidací uvolňované elagové kyseliny i enzymatickou či chemickou hydrolýzou. Ta transformuje hořce chutnající glykosylované kumariny (skopolin a aeskulin) na téměř neutrální až slabě kyselé aglykony (aeskuletin a skopoletin). S těmito změnami ve skladbě fenolů zřejmě souvisí ztráta hořkosti a tvrdosti. Přírodní sušení dále podporuje zvýšení koncentrace aromatických látek jako je eugenol, vanilaldehyd a syringaldehyd, vznikajících při rozkladu ligninu (Michlovský & Khafizova 2016b).





Obrázek 2. Přírozené sušení dřevěných dužin (Zdroj: Kettmann 2017)

Při umělém sušení se využívají větrané sušárny s teplotou 40 – 60 °C, kde prkna leží přibližně měsíc. Výhodou je tedy výrazné snížení času sušení, aniž by byly narušeny mechanické vlastnosti. Vlastní sušení by mělo být postupné, aby ve dřevě nevznikaly pukliny. Z tohoto důvodu se suší po etapách, které přerušují etapy stabilizace ve větraných přístřešcích. V porovnání s přírodním způsobem sušení je uměle sušené dřevo bohatší na hořké kumariny a svíravé třísloviny a obsahuje méně aromatických látek jako eugenol, vanilin a methyloktalakton, u něhož převládá jeho méně aromatický izomer (trans). Přírodní sušení má tedy větší potenciál pro kvalitu vín vyzrávajících v sudech, zejména v případě červených. Snahou je najít pomyslný střed a využít tak výhod obou způsobů. Uvažuje se i metodě, při které se dřevo ponoří na několik dní do recirkulované vody, kde dochází k většímu vymývání tříslovin do hloubky materiálu. To však způsobuje tvrdnutí dřeva a s ním spojené snížení mechanických vlastností (Michlovský & Khafizova 2016b).

Za zmínku stojí i starší způsob sušení využívaný v Americe, a tím je sušení v peci. Tento způsob byl sice relativně vhodný pro zrání lihovin, ale dřevo zanechávalo příliš agresivní příchutí. Když tamní bednáři začali sušit americký dub na vzduchu stejně jako bednáři francouzští, byly výsledné sudy sice stále silnější než francouzské, ale mnohem vhodnější pro výrobu vína (Albrecht 2017).

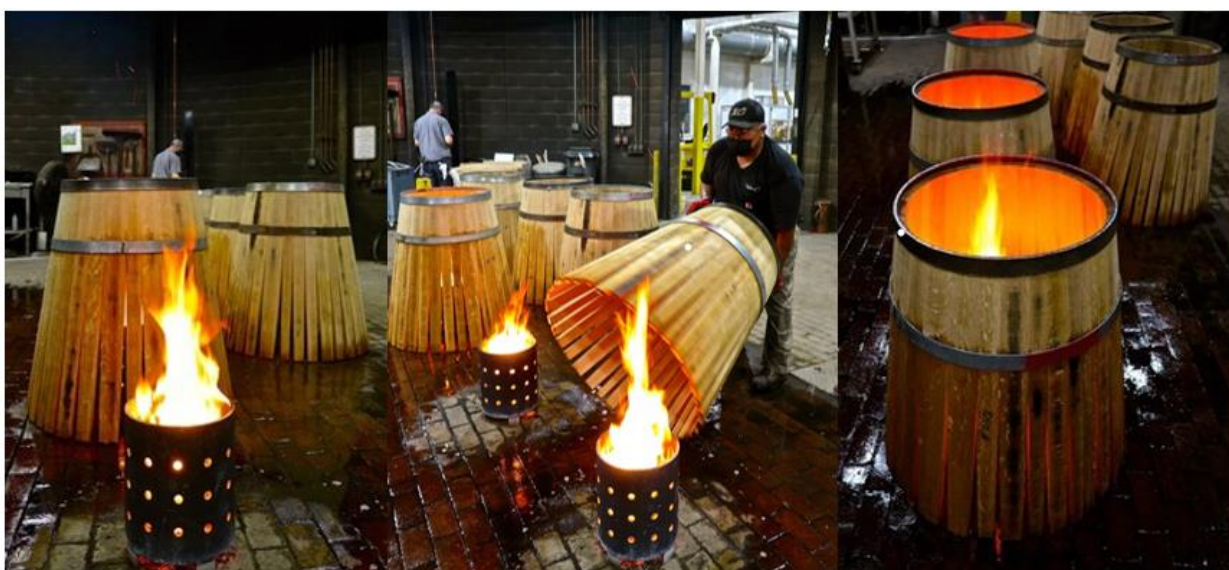
Po úplném vyschnutí se dužiny vytvarují do typického tvaru tak, aby byla uprostřed širší a na koncích mírně zúžená. To zajistí potřebnou vodotěsnost bez použití šroubů nebo lepidla. Bednář ručně vybírá skupiny dých, aby zajistil jejich co nejtěsnější přilnutí, a vyskládá je po obvodu kovové obruče. Poté nasadí další obruč, kterou pomocí náradí posune dál po dužinách a tím začne sud získávat svůj známý tvar (Albrecht 2017). Potřebný počet dých při výrobě záleží na požadovaném objemu sudu, ale obvykle se na výrobu běžného sudu spotřebuje přibližně 18 – 31 kusů. Taková konstrukce je již připravena k vypálení (PoznejWhisky 2020).

### 3.2.2 Vypalování

Vypalování/ožehnutí se provádí za účelem větší ohebnosti dužin při dalším zpracování, má ale také podstatný vliv na obsah aromatických látek ve vyzrávaných nápojích, jelikož významně mění složení a strukturu dřeva. V této fázi je tedy významně ovlivněna kvalita sudu a vývoj budoucího produktu z hlediska jeho organoleptických vlastností. Intenzita ožehnutí ovlivňuje skladbu a množství aromatických látek, které by měly charakter vína nebo destilátu vhodně doplňovat, nikoliv jej překrývat (Michlovský & Khafizova 2016a).

Proces ožehnutí je dále zvláště důležitý při výrobě tzv. bariků. To jsou sudy vyráběné výhradně z dubového dřeva o objemu 225 l s vnitřním povrchem opáleným ohněm. Tento způsob úpravy umožňuje přenést do vína charakteristické chuťové vlastnosti, na druhou stranu mají tyto sudy tenčí stěny než ty klasické a s tím souvisí i jejich menší pevnost (Burg & Zemánek 2022b).

Na počátku procesu se dužiny v obručích rozmístí kolem hořáku a nahřívají se přibližně půl hodiny s pravidelným zvyšováním teploty ( $< 7 \text{ }^\circ\text{C/min}$ ), jak je vidět na Obrázku 3. Uvnitř konstrukce může být infračervená sonda, která zaznamenává teplotu. Pracovník podle naměřené hodnoty buď přiloží do ohně, pokud teplota příliš klesne, nebo materiál postříká vodou, pokud teplota příliš stoupne. Chuťového profilu je dosaženo i tím, jak rychle a dlouho se během opékání mění teplota uvnitř budoucího sudu. Během této operace je tedy dřevo vystaveno působení tepla a zároveň vlhkosti, díky čemuž je materiál dostatečně ohebný (zejména díky plasticitě ligninu), nepraská a lze jej dotvarovat do podoby sudu (Michlovský & Khafizova 2016b). Jak se dřevo postupně ohýbá, utáhne se otevřená část speciálním zařízením a nasadí se další pár obručí, které drží patky pevně na místě. Sud je připraven ke konečné úpravě.



Obrázek 3. Fáze tvarování dužin do podoby sudu (Upraveno dle: Caparoso 2021)

Individuality výroby ovlivňuje zvolená intenzita ohně (dána množstvím spalovaného materiálu), rovnoměrnost a způsob ožehnutí (s otevřenou/uzavřenou konstrukcí), četnost zvlhčování nebo doba celého ošetření. Vybrané parametry zasahují celou strukturu dřeva a jsou specifikem každého bednářství (Michlovský & Khafizova 2016b). Po vypálení se může volitelně přistoupit ke dvěma intenzitám ožehávání, a to opékání (toasting) a zuhelnatění (charring). Při toastingu je dřevo několik minut vystaveno žáru (do 200 °C), který způsobí zhnědnutí. Struktura dřeva se naruší, což umožní extraktivním látkám se lépe přenést do tekutiny. To má pozitivní vliv na sensorické vlastnosti produktu, mimo jiné je mu propůjčen typický vypálený charakter. Při zuhelnatění se naproti tomu chvilkově (několik vteřin) využívají mnohem vyšší teploty (nad 400 °C). V sudu tak dojde k vytvoření zuhelnatělé vrstvy, která během zrání funguje jako filtr a ten odstraňuje z tekutiny nežádoucí látky (PoznejWhisky 2020).

Nejčastěji se rozlišují 3 stupně opékání:

Mírné probíhá asi 5 minut při teplotě povrchu 120 – 180 °C. Tepelnou změnou ligninu a hemicelulózy získají vnitřní stěny nádoby pórovitější charakter, což později usnadňuje extrakci látek. Respektive víno se do dřeva skrze otevřené cévy dostává snadněji.

Střední ožehnutí trvá již 10 minut, s teplotou povrchu přibližně 200 °C. Při tomto stupni se scelí vnitřní část sudu, což zajistí jeho vysokou vodotěsnost.

Silné ožehnutí značně naruší buněčnou strukturu, povrch nabyde a vytvoří se v něm malé pukliny. Ty mohou podpořit průchod stařené tekutiny do dřeva. Tento stupeň trvá 15 minut a povrchová teplota dosahuje 230 °C (Minárik 2010; Michlovský & Khafizova 2016b).

Rodinné bednářství z Valaška naproti tomu uvádí 4 stupně toastingu:

Light toast, tedy mírné opékání, poskytuje ráznou chuť a vůni dřeva a je vhodné pro delší staření vína.

Medium toast zbarví dýhy do světle hněda a vínu propůjčí dominantní ovocnost a jemnější sladkost v dochuti.

Medium toast plus poskytne tmavě hnědou barvu dřeva a aroma kokosu, vanilky či kouře.

Posledním stupněm je heavy toast, kdy je opálená vrstva až černá a víno získá aroma vanilky, čokolády a karamelu. Chuť je bohatá a vjem šunky či slaniny často převýší ovocitost. Vína určená do takto ošetřených sudů by měla být silná ve svých odrůdových charakteristikách. Je důležité, aby pražení při nízké intenzitě ohně neproběhlo příliš rychle, jinak by se mohlo odrazit ve spálené či příliš zakouřené chuti (Stávek 2010).

Stejně jako druh dřeviny je třeba stupeň opečení přizpůsobit vlastnostem tekutiny, která bude uvnitř sudu vyžrávat. Například silné opečení nového sudu s aromatickou jemnozrnnou strukturou by nedalo vyniknout jemné vůni bílého vína, proto by v tomto případě bylo lepší aplikovat jen průměrný stupeň opálení, to znamená mezistupeň mezi silným a středním (Michlovský & Khafizova 2016a). Ožehnutí zbavuje dřevo „zelených“ nezralých tónů a v přiměřené míře poskytuje pozitivní vůně po vanilce. Pokud je ovšem ožehnutí velmi silné, dá vznik vjemům po spálenině, grilu nebo pražení, což by například u jemných

harmonických ovocných vín způsobilo nechtěně hrubý charakter a hořké až kouřovité znaky. Vhodnější je zde použití jemnozrnného dřeva s mírným až středním ožehnutím, které vyluhuje méně fenolových sloučenin (Michlovský & Khafizova 2017b). Navíc dlouho udržovaná vysoká teplota degraduje těkavé látky. Studie na ně se zaměřující dokládá, že množství téměř všech aromatických látek bylo vyšší po opékání při 160 – 170 °C než po opékání při 250 – 260 °C. Aromata se tvořila se zvyšující se teplotou opékání, ale při velmi vysoké teplotě docházelo k jejich degradaci. Opékání je tedy proces, který ovlivňuje složení těkavých látek dřeva nejvíce (Martínez-Gil et al. 2022a).

Ve fázi vypalování vzniká mnoho látek s dopadem na organoleptické vlastnosti vína, whiskey, brandy atd. Dotýká se celé struktury dřeva, nejvíce však asi sacharidových částí sudu. Termolýzou ligninu dochází k Maillardovým reakcím za vzniku fenolických aldehydů a ketonů. Jsou to skupiny sloučenin zodpovědné za žádané vanilkové, dřevité až kořeněné aroma zrajících vín. Hlavní podíl má vanilin, ale i další sloučeniny z této skupiny, jako je syringaldehyd, acetovanilon a propovanilon (Gombau et al. 2022). Ohřev polysacharidů (hlavně hemicelulózy) dále přispívá k tvorbě těkavých sloučenin, jako jsou furanové aldehydy, které obecně dodávají vůni pražených ořechů, karamelu, spáleného cukru či chleba. Tato skupina sloučenin zvyšuje aroma dubu a zvýrazňuje aroma jiných sloučenin, jako jsou laktony (Martínez-Gil et al. 2022a). Jsou to například furfural, methyl-5-furfural s vůní po pražených mandlích a hydroxy methyl-5-furfural, který je bez vůně. Uvedené sloučeniny nicméně ve výsledném víně nepřekročí práh vnímání a jen velmi málo se tak podílejí na dehtových tónech. Ohřevem dochází také ke vzniku maltolu, isomaltolu a cyklotenu, sloučenin s vjemem připomínajícím topinku nebo karamel. Vznikají z příslušných hexóz v přítomnosti dusíkatých látek a sensoricky mají významnější dopad než furanové aldehydy. Ve větším množství se vyskytují aldehydy benzoové (vanilin, syringaldehyd) a po nich hydroxyskořicové (koniferaldehyd, sinapaldehyd), s nejvyššími koncentracemi po středním stupni ožehnutí (Michlovský & Khafizova 2016b).

Jak bylo popsáno, dřevo během žihání prodělává různé fyzické i chemické změny. Polymery dřeva jako je lignin, celulóza a hemicelulóza se rozkládají a dávají tak vzniknout množství látek. V neposlední řadě zde dochází ke zmírnění drsnosti odbouráváním ellagitaninů, přičemž elagová kyselina je tepelně odolnější než gallová (Michlovský & Khafizova 2016b).

Ožehnutí způsobuje i rozklad některých lipidů nebo mastných kyselin dávajíc tak vznik dvěma izomerům  $\beta$ -methyl- $\gamma$ -oktalaktonu (cis laktonu a trans laktonu). Vznikají hlavně v této fázi dehydratací kyseliny 2-methyl-3-(3,4-dihydroxy-5-methoxybenzo)-oktanové a s intenzitou ohřevu se tento proces zesiluje (Martínez-Gil et al. 2022a). Jak v nevypalovaném tak v ožehnutém dřevě převládá cis izomer, který je vonnější a vínu dodává dřevité a kokosové aroma. Při silném a delším ožehnutí (nad 15 minut) se však ztrácí, jelikož je citlivý na teplo. Ožehnutí obecně dodává vínům aroma dřevoviny, avšak s vysokou intenzitou ohřevu intenzita tohoto vjemu klesá (Michlovský & Khafizova 2016b).

I když určitá sloučenina nepřekročí práh vnímání, při kterém by se projevilo její aroma, molekuly na sebe vzájemně působí a zesilují aroma jiné sloučeniny nebo vytváří aromatické nuance. Faktory, které ovlivňují obsah aromat ve výsledném víně, jsou mimo jiné doba

kontaktu vína se dřevem, poměr dřeva a vína, zda je dřevo nové, nebo bylo již dříve použito s jinými víny, a typ kontaktu (sudý nebo dřevěné fragmenty). Kromě všech výše uvedených faktorů závisí koncentrace těkavých sloučenin ze dřeva ve víně na odrůdě hroznů a jejich zralosti, protože každé víno má jinou schopnost extrahovat tyto sloučeniny ze dřeva (Martínez-Gil et al. 2022a).

Opékání dřeva tedy zvyšuje množství a komplexnost sloučenin, které dřevo do vína uvolňuje. V souhrnu vznikají nové těkavé a vonné sloučeniny, především furanové a fenolové aldehydy, těkavé fenoly, mastné kyseliny (hlavně octová a kyseliny s více než šesti uhlíky vzniklé rozkladem složitějších lipidů) a methyloktalakton. Dále vznikají methyl pyraziny s vůní po čerstvém chlebu a kakau a významné množství fenylketonů (Michlovský & Khafizova 2016b).

### 3.2.3 Finální úprava sudu

V konečné fázi výroby sudu je nutné oříznout/zbrousit konce patek a vyříznout „croze“, tedy drážku, do které se zasunou hlavy sudu. Ty se nařezávají na míru a jsou spojeny dřevěnými kolíky. Poté se sud postaví do svislé polohy, hlavy se nasadí a zakončí se závěrečnou obručí, která vše udrží na svém místě. Nakonec se testuje vodotěsnost vyrobeného sudu. Po provedené kontrole se ještě obrousí a hobluje. Bednář poté svou práci podepíše nebo opatří razítkem (Albrecht 2017).

## 3.3 Oakscan

Volba dřeva z různých částí kmene (horní, střední nebo spodní), někdy z různých druhů [*Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. a mnoho kříženců] a stromů s odlišným prostředím a rychlostí růstu je zdrojem různorodosti struktury dřeva, a tedy i vlastností, které sudům propůjčuje (Vivas et al. 2019). Vzhledem k těmto odchýlkám mohou vzniknout v jedné šarži i bednárně značně odlišné sudy. To vyžaduje zavedení systému klasifikace dřeva, který by měl tuto různorodost snížit a umožnit větší homogenitu produkce.

Většina bednáren třídí dřevo podle zrnitosti, ale existují i jiné způsoby. Jednou z nich je francouzský systém Oakscan. Jedná se o nedestruktivní metodu měření, která využívá šetrnou infračervenou spektroskopii k rozřazení dřeva na základě složení fenolů (Prat-García et al. 2020a), přesněji podle obsahu ellagitaninu. Systém vznikl s cílem snížit variabilitu obsahu těchto sloučenin ve dřevě určeném pro stavbu sudů. Jednotlivé dýhy jsou před vstupem do výrobního procesu klasifikovány do tří kategorií podle polyfenolického indexu a ten přímo souvisí s obsahem ellagitaninu (Sánchez-Gómez et al. 2020).

Dužiny třídy 1 s nejnižším indexem (do 21) jsou určeny pro vína citlivá na příjem taninů ze dřeva. Do třídy 2 (21 – 56) spadá většina tuzemské produkce a je vhodná pro odrůdy vína s pevnou strukturou. Nakonec třída 3 s nejvyšší hodnotou indexu (56 – 67) se specificky volí pro vína, která pro svůj další rozvoj vyžadují příjem taninů ze dřeva. Pokud mají dýhy index

vyšší než 67, jsou určeny pro sudy ke stažení destilátů. Takováto selekce dřevěných dých umožňuje homogenizovat kvalitu sudů, a tím i jejich vliv na vína a lihoviny během zrání, což dříve nebylo dobře možné (Burg & Zemánek 2011).

### 3.4 Před prvním použitím sudu

Při dlouhodobějším skladování prázdných dřevěných sudů dochází ke ztrátě jejich vodotěsnosti, proto je žádoucí je před použitím naplnit vodou. Materiál nabobtná, části sudu těsně přilehnou a tak je zabráněno úniku tekutiny. Dalším důvodem je odstranění zbytků pilin a nejdrsnějších tříslovin. Doporučuje se několik způsobů namáčení, například naplnit sud několika litry horké vody a na dvě hodiny ho zavřít. Jiný spočívá v aktivním oplachování horkou vodou po dobu 5 minut, následném naplnění studenou vodou na 24 nebo 48 hodin, nebo plnění horkou vodou na 24 hodin. Všechny tyto postupy vykazují různé náklady na spotřebu vody a práci a jejich vliv na propustnost vzduchu není přesně popsán v literatuře (Junqua et al. 2021).

Byl proto proveden experiment, při kterém byl každý ze tří sudů připraven podle jednoho z postupů popsaných výše a bednáři obecně doporučovaných. Difuzní koeficienty ošetřených sudů se ve srovnání s kontrolními desetinasobně snížily. Spotřeba vody byla stejná při parní i 20litrové úpravě, ale při první z nich se doba přípravy zkrátila z 24 hodin na 12 minut. Difuzní koeficient při 48hodinové úpravě celého sudu byl podobný jako při 22minutové úpravě varem, ale při této úpravě bylo spotřebováno pouze 11 litrů vody namísto 225 litrů spotřebovaných při použití páry. Zdá se tedy, že ošetření párou je vhodnou alternativou z hlediska úspory vody i času (Junqua et al. 2021).

### 3.5 Interakce sudu s nápojem

Nádoby na zrání více či méně pozměňují vlastnosti vznikajícího nápoje, a to především vlivem materiálu, propustnosti kyslíku, schopnosti vyluhovat různé látky, vlivem obsahu vlhkosti a dalších faktorů. Asi nejčastějším typem nádoby, ať už jde o zrání vína či lihovin, je dřevěný sud, zejména dubový [především *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L. a *Quercus alba* L.] (Lisanti et al. 2021). Procesy, které v něm probíhají, jsou řadou složitých a pomalých chemicko-fyzikálních změn mezi složkami dřeva a vína v prostředí s dlouhodobě nízkým množstvím rozpuštěného kyslíku (Ma et al. 2022).

I díky nemalé náročnosti na financování a obsluhu je dnes zrání v tomto typu nádob spojováno s výrobou spíše jakostních vín, není to však nutností. V dřevěném sudu může vyzrávat jakékoliv víno, nelze však očekávat, že sud sám stvoří kvalitní produkt. Mezi materiálem a tekutinou musí vzniknout soulad, který umožní harmonický vývoj. V opačném případě může být výsledkem mimo jiné dominantní dřevovina, která jedinečnost nápoje pohltil. Stažení ve dřevě tedy posiluje přirozené kvality vína, případně pomáhá překrýt určité nedostatky (Michlovský & Khafizova 2017b).

Po fázi kvašení je vzniklé mladé víno drsné, zakalené a není dostatečně stabilní. Vyzríváním v dřevěných nádobách tuto stabilitu získá díky redoxním, kondenzačním, esterifikačním, polymerizačním a dalším reakcím, které nápoji navíc poskytnou nové sensorické vlastnosti (Ma et al. 2022). Vývoj nápoje je modulován mnoha faktory, jako je přirozené čiření a odpařování látek (hlavně těkavých), což přímo či nepřímo určuje řadu procesů, které během zrání nastávají (např. polymerace anthokyanů a tříslovin, oxidace ethanolu a acetaldehydu a změny fenolického složení vína) a určují konečné vlastnosti produktu (Sánchez-Gómez et al. 2020). Důležitou roli hraje i prostředí zrání. Měnící se teplota vede ke změnám tlaku v sudu, což způsobuje pohyby nápoje v kapilárách dřeva a mimo ně. To má zásadní dopad na chuť, vůni a celkovou barvu produktu (Carpena et al. 2020). Ke zlepšení sensorických kvalit dochází především dvěma procesy: okysličováním tekutiny malým množstvím vzduchu skrze póry dřeva (mikrooxygenace) a uvolňováním sensoricky aktivních látek z materiálu sudu. Tyto jevy vedou ke stabilizaci barvy a v některých případech i ke snížení trpkosti vína (Lisanti et al. 2021).

### 3.5.1 Mikrooxygenace

Množství kyslíku, které se během zrání v sudech dostane do vína, hraje zásadní roli při zrání zejména červeného vína, jelikož určuje následné reakce a konečné vlastnosti produktu. Víno skladované tímto způsobem získává komplexní aroma, stabilní barvu a samovolně se vyjasňuje, čímž se zlepšuje jeho kvalita (Martínez-Gil et al. 2022b). Navíc napomáhá snížit množství nežádoucích těkavých sirných sloučenin (např. sulfan, methanthiol) (Balík 2021).

Existují dva druhy mikrooxygenace, a to pasivní, která díky pórovitosti dřeva sudu probíhá přirozeně, a aktivní (umělá). Umělá mikrooxygenace probíhá řízeně pomocí zařízení, které dávkuje požadované množství kyslíku do vína. Je však zapotřebí zajistit správné načasování a dávky kyslíku. Optimální teplota vína pro dostatečné rozpuštění kyslíku je asi 15 °C. Při nižších hodnotách by mohlo docházet k jeho akumulaci v nápoji, vyšší teploty naopak nepodporují jeho dostatečné rozpouštění. Aktivní mikrooxygenace je méně náročná na výrobní prostory i finanční prostředky, navíc se při ní nevyluhují fenolické a aromatické látky, které jsou u určitých produktů nežádoucí. Jedná se o přijatelnou alternativu, nicméně klasické dřevěné sudy zcela nenahradí. V současné době dávají někteří vinaři přednost právě aktivnímu okysličování s využitím dubových alternativ (hoblíny, třísky atd.) pro simulaci zrání v klasickém sudu (Průšová et al. 2022). V případě přirozeného mikrookysličování dřevo funguje jako aktivní rozhraní mezi nápojem a vnějším prostředím. Kyslík difunduje z okolí sudu, kde je jeho koncentrace vyšší, dovnitř nádoby, kde je koncentrace nižší. Nápoj dodávaný kyslík průběžně spotřebovává, čímž se snižuje jeho koncentraci uvnitř sudu. Tekutina je tedy pomalu a nepřetržitě okysličována. (Roussey et al. 2022). Přirozenou mikrooxidaci poskytují vyjma dřeva i nádoby z betonu, plastu nebo ty hliněné (Průšová et al. 2022).

Z prostředí sklepa dovnitř sudu kyslík migruje třemi možnými vstupními místy: póry jednotlivých dých, spárami mezi nimi a přes zátku (Junqua et al. 2021). Nezanedbatelný je však

i okysličení, které probíhá během plnění sudů (Prat-García et al. 2020a). Prostup mezerami mezi dužinami závisí na tlaku mezi nimi, který je dán počtem a umístěním ocelových obručí či mírou nasycenosti dřeva tekutinou. Platí, že menší vzájemný tlak znamená větší pronikání kyslíku. Vstup přes zátku je zanedbatelný, největší množství tedy proniká přes póry dřeva, udávají se hodnoty mezi 46 a 72 % z přijímaného objemu kyslíku. Ten se ročně pohybuje od 10 mg/l u pětiletých sudů až po 45 mg/l za rok u sudů nových s velmi jemným zrnem (Junqua et al. 2021).

Prostupnost závisí vedle anatomie dřeva na druhu dřeviny, jejím zeměpisném původu, vnitřním objemu, počtu a tloušťce dužin, procesu opékání a také na vlhkosti materiálu, která se během stažení mění (Sánchez-Gómez et al. 2020). Propustnost sudu je tím nižší, čím vyšší je obsah jeho vlhkosti. Při naplnění sudu vyzrávaný nápoj sytí buňky a cévy dřeva, čímž se materiál rozpíná a v důsledku toho dochází ke zvýšení tlaku mezi dužinami a je tak snížen přenos kyslíku spárami. Optimální hodnota vlhkosti prostředí je 50 až 70 %, při vyšších hladinách případně hrozí kondenzace vody a rozvoj plísní na sudech, mohou být též poškozeny korkové uzávěry. V opačném případě korky sesychají a nepřiléhají ke stěně sudu dostatečně těsně, což může způsobit nežádoucí výměnu vodních par a vzduchu s okolním prostředím a přispívat tak k úbytku vína. Vlhkost i teplota ve sklepě by proto měly být udržovány na konstantních hodnotách (Junqua et al. 2021).

Celkové množství kyslíku, které se dostává do tekutiny, musí být přiměřené. Jeho přebytek vede k oxidaci vína, zatímco jeho nedostatek vytváří spíše redukční prostředí, které může pomoci zachovat aroma a ovocnost, ale může také vést k redukčním vadám vína. Za ty mohou těkavé sloučeniny síry jako je sirovodík nebo disulfidy způsobující pachy po zkažených vejcích, splašcích, česneku nebo cibuli (Goldhawke 2021).

### 3.5.2 Vyluhování látek

Druhým zásadním aspektem zrání je vyluhování látek při kontaktu nápoje s povrchem nádoby. Elementárních látek v případě betonu a hliněných amfor a primárně ellagitaniů a těkavých látek v případě dubového sudu. Uvolněné prvky mohou působit jako katalyzátory řady redoxních reakcí, kterých se s rozpuštěným kyslíkem samy účastní, a které mají velký dopad na výslednou barvu, vůni a chuť produktu (Maioli et al. 2022). Množství a vlastnosti vyluhovaných sloučenin, stejně jako jejich adsorpce, se mohou značně lišit u botanických druhů a v zeměpisném původu, s poměrem plochy povrchu dřeva k objemu tekutiny, ve složení nápoje, vlhkostí a teplotou prostředí, délce a opakování použití sudu a také ve způsobu bednářského zpracování (Lisanti et al. 2021). Složení vína je další významnou proměnnou, protože stupeň alkoholu, pH i titrační kyselost přímo ovlivňují ethanolýzu složek dřeva (González-Centeno et al. 2016). Hodnota pH se během zrání snižuje díky vyluhování organických kyselin ze dřeva, zejména kyseliny octové. Tento proces podněcuje pyrolýzu materiálu předchozím opékáním (Picard et al. 2021).

V závislosti na množství alkoholu se extrakce těkavých látek se s jeho vyšší hladinou zvyšuje, lineárně se tedy zvyšuje i koncentrace cis- a trans-dubového laktonu v nápoji. To je



žádoucí, jelikož cis-lakton je považován za jeden z hlavních původců dřevitých tónů vín. Na poměr obou izomerů má významný vliv zavlažování během opékání sudu. (González-Centeno et al. 2016). Navíc čím je vyšší teplota skladování, tím intenzivnější jsou interakce mezi dřevem a alkoholem. Lokace skladu nebo počet pater sudů tak mají určitý vliv na tvorbu chuti produktu. Některé palírny proto pro větší rovnoměrnost zrání sudy rotují, rozmísťují je do různých skladů nebo vyčleňují jednotlivá patra a sklady pro specifické značky (Gavlík 2021).

Klíčovými extraktivními látkami dřeva jsou fenolické sloučeniny (zejména ellagitaniny), laktony, fenolické aldehydy (vanilin, syringaldehyd) a furfuralové sloučeniny (5-methylfurfural, furfural a furfurylalkohol) (Jordão & Cosme 2022). Dále jde například o lignany, kumariny či organické kyseliny (Junqua et al. 2021). Těkavé sloučeniny jsou v dubovém dřevě obsaženy přirozeně nebo se mohou vytvořit během výroby sudu, zejména při procesu opékání. Z těchto látek, které mají organoleptický přínos a jsou náchylné k migraci do nápoje, jsou asi nejdůležitější cis- a trans- $\beta$ -methyl- $\gamma$ -oktalakton (také whisky-lakton/dubový lakton), fenolický aldehyd vanilin, těkavé fenoly eugenol a guajakol, a taniny neboli třísloviny (González-Centeno et al. 2016).

Ellagitaniny (třísloviny odvozené od elagové kyseliny) a gallotaniny (třísloviny odvozené od gallové kyseliny) mají i ve velmi nízkých koncentracích silnou antioxidační aktivitu (Rubio-Bretón et al. 2018), rychle tedy absorbují kyslík rozpuštěný v nápoji. Navíc ellagitaniny hrají zásadní roli při kondenzaci proanthokyanidinů a anthokyanů, čímž zabraňují jejich degradaci a vysrážení (Jordão & Cosme 2022). Tyto třísloviny dosahují vyšší koncentrace během prvních měsíců zrání a v jádrovém dřevě dubu se jich vyskytuje až 10 %, přičemž nejzastoupenější jsou kastalagin a vescalagin. Po styku s vínem se tyto fenolické sloučeniny pomalu a kontinuálně přeměňují na příslušné ethylderiváty a flavano-ellagitaniny (González-Centeno et al. 2016).

Fenolické kyseliny dubového dřeva taktéž ovlivňují antioxidační kapacitu. Víno ji během vyzrávání zvyšuje díky nárůstu koncentrace kyselin p-kumarové, gallové, kávové, ferulové, protokatechové (Jordão & Cosme 2022). Kyseliny kávová a p-kumarová mohou pocházet z hydrolýzy prekurzorů hroznů (např. kyseliny kumarové a kaftarové) nebo dubového dřeva. Tento účinek je závislý na druhu dřeviny (Lisanti et al. 2021).

Extrahovatelné látky jsou tedy v mnoha ohledech důležité pro senzoryckou stránku vína, ale i destilátů. V případě whisky se nejčastěji využívají sudy, ve kterých již dříve zrál jiný nápoj, například bourbon nebo sherry. Výjimkou však nejsou sudy po rumu, červeném víně, portském, koňaku nebo šampaňském. Platí, že čím menší je sud, tím větší podíl tekutiny je v kontaktu se dřevem a účinek je rychlejší (PoznejWhisky 2019). Oblíbeným krokem při staření whisky je tzv. finishing. Jde o závěrečné dozrávání v jiném typu sudu, než v kterém doposud ležela, kde jsou získány dodatečné charakteristiky. Délka dozrávání není pevná a pohybuje se mezi několika měsíci až lety. Je proto možné nechat stařit whisky pět let v bourbonovém sudu, který jí propůjčí tóny vanilky, kokosu nebo karamelu, a následně se na zbývajících šest měsíců stařit v sudu využitém pro sherry, který dodá tóny po sušeném ovoci. Různými kombinacemi tak lze dosáhnout širokého portfolia chutí (PoznejWhisky 2020). Navíc lze

experimentovat s poměrem povrchu sudu k objemu nápoje. Například bednárna Black Swan Cooperage z Minnesoty v USA vyvinula patentovaný sud, v němž jsou do dřívěk sudu vyvrtány malé otvory, což umožňuje tento poměr zvýšit. Tato metoda umožňuje lepší přístup ke xylému a floémovým trubicím dřeva. Tekutina tak může získat chuť mnohem rychleji (Carpena et al. 2020).

### 3.5.3 Reakce mezi složkami dřeva a kyslíkem

Popsané klíčové aspekty zrání, tedy mikrookysličování a extrakce látek ze dřeva, působí na vývoj nápoje společně prostřednictvím různých reakcí. Kontinuální pronikání kyslíku udržuje oxidační prostředí ve víně, a tím umožňuje průběh čtených reakcí. Oxidačně-redukční rovnováha se liší podle různých materiálů nádob na zrání (Vivas et al. 2019). Během zrání vína probíhá řízená oxidace, polymerace, esterifikace, kondenzace a další reakce. Díky pórovitosti stěny sudu se obsah rozpuštěného kyslíku udržuje na úrovni 0,1 – 0,5 mg/l. V důsledku jeho interakcí s látkami dodávaných dřevem dochází ke zmíněným složitým chemicko-fyzikálním změnám (Ma et al. 2022).

#### 3.5.3.1 Oxidační reakce

Oxidační reakce zahrnují alkoholy, které se oxidují na aldehydy ( $RCH_2OH \rightarrow RCHO$ ), respektive ethanol se přeměňuje na acetaldehyd (ethanal). Další aldehydy vznikají i z jiných organických složek vína (Ma et al. 2022). Sensorický přínos ethanal, jako nejvíce vznikajícího aldehydu, spočívá v tom, že při nízkých koncentracích (30 mg/l) poskytuje ovocnou příchutí, ale při vyšších (100 mg/l) příchutí podobnou hnilobě (Maioli et al. 2022). Navíc hraje důležitou roli při tvorbě komplexů tanin-tanin a tanin-anthokyanin (Martínez-Gil et al. 2022b). Aldehydy se dále oxidují na kyseliny ( $RCHO \rightarrow RCOOH$ ) (Ma et al. 2022), nebo mohou reagovat s anthokyany a monomerními nízkomolekulárními flavanoly (tříslovinami) za vzniku stabilních fialových nebo červených polymerních pigmentů (Lisanti et al. 2021). Mohou také přispívat k tvorbě vitisinu B a dalších pyranoanthokyaninů. Všechny tyto reakce souvisejí se stabilizací barvy a zjemněním červených vín (Gombau et al. 2022). Celkově byl obsah aldehydů vyšší u vín, které zrály v sudech s nižší mírou přenosu kyslíku (Martínez-Gil et al. 2022b).

#### 3.5.3.2 Esterifikační reakce

Kyseliny a alkoholy, primárně ethanol, se během zrání vína mohou pomalu a kontinuálně spojovat za vzniku esterů ( $R'OH + RCOOH \rightarrow RCOOR'$ ) (Ma et al. 2022). Kromě této cesty vznikají ve víně ještě enzymovou esterifikací během kvašení. Navíc mohou být určité estery syntetizovány oběma způsoby (Gil i Cortiella et al. 2020). Obsah výchozích organických kyselin v tekutině může v důsledku tohoto děje kolísat. To je i případ kávové kyseliny, která se účastní esterifikačních reakcí za vzniku kaftarové kyseliny (Rubio-Bretón et al. 2018). Stejně

tak hladiny esterů se mohou časem měnit, jelikož se mohou v různé míře absorbovat na stěnu sudu v závislosti na složení vína i anatomie dřeva (Lisanti et al. 2021).

### 3.5.3.3 Polymerační reakce

Prvním parametrem, který se díky velké reaktivitě anthokyanů z hroznů mění, jsou barevné vlastnosti nápoje (Lisanti et al. 2021). Zráním totiž dochází v dřevěných sudech k polymeraci polysacharidů, bílkovin a polyfenolů vína. Díky mikrookysličování probíhají mezi anthokyanami a tříslovinami kondenzační procesy, které vedou k tvorbě stabilních pigmentů. Ty se postupně během zrání hromadí a stávají se zde hlavními barevnými látkami, které dodávají červenému vínu lepší a stabilnější barvu (Ma et al. 2022), protože tyto pigmenty posilují modré tóny na úkor žlutých a jsou odolnější vůči degradaci (Prat-García et al. 2020b). Anthokyanany snadno reagují také s acetaldehydem, kyselinou pyrohroznovou nebo p-vinylfenolem a vytvářejí nové pyranoanthokyanany, což přispívá k oranžovému tónu vína. Purpurově červený odstín původních mladých vín se tak mění na spíše cihlový, charakteristický pro vína zralá (Ma et al. 2022).

Na tvorbě polymerních pigmentů se může podílet několik faktorů, jako jsou fenolická skladba tekutiny, materiál nádoby, množství rozpuštěného kyslíku a oxidačně-redukční potenciál. Fenolické sloučeniny spotřebovávají značné množství kyslíku, protože se chovají jako akceptory elektronů (Guerrini et al. 2022) a jsou tedy významné pro svou antioxidační kapacitu. Jelikož se v červených vínech vyskytuje vyšší množství polyfenolů (dáno anthokyanovými barvivy ze slupek hroznů a dobou jejich macerace), vyžadují delší dobu okysličování při staření ve srovnání s víny bílými. Tato doba závisí mimo jiné i na odrůdě hroznů a požadovaném senzoryckém profilu produktu (Carpena et al. 2020).

Ze sloučenin uvolňovaných ze dřeva během zrání jsou nejzastoupenější ellagitaniny, složité adstringentní/svíravé molekuly. Jakmile se dostanou do vína, účastní se zmíněných reakcí, které mění jejich schopnost reagovat s bílkovinami slin a nemají tak už schopnost vyvolat drhnoucí pocit na jazyku. Celkově je tím snížena trpkost nápoje. Další nízkomolekulární fenolické sloučeniny, jako jsou kyseliny kávová, ferulová a p-kumarová, mění během staření svou koncentraci (Lisanti et al. 2021). Celkově se zráním obsah hlavních flavanolů vína (katechinu a epikatechinu) v nápoji snižuje, a to nejen zmíněnou polymerací a kondenzací s anthokyanami, ale i jejich adsorpcí na povrch dřeva či vinné kaly (Martínez-Gil et al. 2022b). Výrazně více klesá množství trojsubstituovaných anthokyanů (např. delphinidin, malvidin, petunidin) oproti těm s dvěma substituenty (peonidin). Lze tedy říci, že anthokyanany se třemi substituenty na benzenovém jádře mají vyšší reaktivitu a jsou náchylnější k degradaci než ty s dvěma substituenty (Prat-García et al. 2020b). Na druhou stranu se obsah anthokyanů může mírně zvýšit v důsledku hydrolyzy příslušných vyšších oligomerů. Z uvedených faktů vyplývá, že sudy s nižší propustností kyslíku umožňují lepší zachování koncentrace původních flavanolů vína, protože se účastní méně reakcí, než kdyby víno zrало v sudech s větším prostupem. Vyšší přísun kyslíku totiž podporuje interakce vína a látek dřeva, což vede k většímu poklesu těchto flavanolů za vzniku stabilnějších struktur, a to je žádoucí. Lze shrnout, že víno se bude vyvíjet

odlišně v sudech s různou mírou okysličení. Navíc se s různým rozsahem mikrooxygenace různí i dynamika změn. Vyluhování látek a následné reakce jsou u vína z méně propustného sudu rychlejší, zatímco u vína z více propustného sudu probíhají stejné procesy postupněji. Tyto rozdíly se však s dobou zrání snižují (Martínez-Gil et al. 2022b).

Mezi další rozdíly můžeme zařadit například koncentrace kyselin gallové a elagové. S menší mírou okysličení jsou spojeny vyšší hladiny kyseliny gallové (také vanilinu a syringové kyseliny), a naopak při vyšším prostupu kyslíku jsou zaznamenány vyšší hladiny elagové kyseliny (dále koniferaldehydu, syringaldehydu, sinapaldehydu) (Fernandes et al. 2022). Vysokopropustné sudy dále vykazují vyšší hladiny cis- $\beta$ -methyl- $\gamma$ -oktalaktonu, naproti tomu ty s nižší propustností poskytují vyšší obsah eugenolu, guajakolu, 4-methylguajakolu, 4-ethylguajakolu a 4-vinylguajakolu (Sánchez-Gómez et al. 2020). Navíc obsahují více furfuralu, 5-methylfurfuralu a 5-hydroxymethylfurfuralu, což jsou sloučeniny podílející se na kondenzaci fenolových sloučenin, což by vysvětlovalo vyšší polymeraci v sudech s nižší propustností kyslíku. V kontrastu k tomuto faktu si vína ze sudů s vyšším prostupem zachovávají více původních anthokyanů, což díky probíhajícím oxidačním reakcím vede k větší ztrátě barvy. Na druhou stranu ale vína z méně propustných sudů ze dřeva extrahují více sloučenin a rychleji. Prostupnější sudy potřebují dvakrát delší dobu, aby nápoj dosáhl stejného obsahu gallové kyseliny (Martínez-Gil et al. 2022b).

Obsah rozpuštěného kyslíku s dobou vyzrání výrazně vzrůstá, jelikož reakce, které by ho měly spotřebovat, nejsou tolik intenzivní. Respektive kontinuálně klesá množství monomerních anthokyanů a jiných sloučenin, které se na nich podílejí, a tak kyslík zůstává nespotebován v tekutině (Alamo-Sanza et al. 2016). Postupně se mezi alkoholy, aldehydy, kyselinami, estery a fenoly dosáhne nové rovnováhy, což má souhrnně za následek lepší barvu i chuť produktu, výraznější aroma a jemnější tělo. Mění se také biologická aktivita a vše společně vede ke zralosti vína (Ma et al. 2022).

#### 3.5.4 Odpařování látek

Změny sklepních podmínek způsobují, že se vlhkost dřeva na vnější straně sudů mění, a protože je dřevo hygroskopický materiál, tato změna může způsobit jeho smršťování nebo bobtnání. To má přímý vliv na vnitřní objem sudu. Přenos kapaliny v důsledku migrace vína zevnitř nebo výměnou vodní páry mezi sklepem a vnější stěnou sudu může snížit objem kapaliny, což má za následek pokles tlaku uvnitř a vznik plynného prostoru v horní části sudu. Zdejší tlak je významný pro přenos plynu. Nízká vlhkost prostředí zvyšuje odpar, naopak při vysokých hodnotách je možné pozorovat i hmotnostní přírůstky (Roussey et al. 2021). Množství tekutiny, které se během zrání odpaří ze sudu, se nazývá andělský podíl (viz Obrázek 4). U whisky jde obvykle o 2 – 5 % za rok. Vedle něj může pro výrobce představovat problém také snižování koncentrace alkoholu, ke kterému vlivem odpařování dochází. V případě whisky se jedná o pokles 0,5 – 1 % za rok. U déle stařených z nich by tak mohlo docházet k poklesu alkoholu pod zákonem stanovených 40 % (PoznejWhisky 2020). Ethanol se nicméně odpařuje pomaleji než voda (Martínez-Gil et al. 2022b). Jistým opatřením

je volba velikosti nádoby na zrání, z větších sudů se totiž ztrácí nižší podíl tekutiny než z menších (Carpena et al. 2020). Praktičtější je však sudy průběžně doplňovat příslušným nápojem až po zátkový otvor, aby se zabránilo působení kyslíku v nově vzniklém prostoru v horní části nádoby (Goldhawke 2020). Sníží se tak i riziko kontaminace aerobními bakteriemi octového kvašení, které spolu s anaerobními mléčnými přispívají k nárůstu těkavých kyselin (např. octové kyseliny) či ethyacetátu, což se negativně podepisuje na vůni vína. Obecně je z hlediska mikrobiální kontaminace rizikové období na konci jara a začátku podzimu, kdy se zvyšuje výpar, a teploty ve sklepě kolísají. Pro lepší prevenci se kromě dolévání sudu kontrolují teploty a množství volného oxidu siřičitého (Michlovský & Khafizova 2017b).



Obrázek 4. Znárodnění andělského podílu u sudů s bourbonem (Zdroj: WhiskeyMade 2016)

### 3.6 Vliv stáří a předchozího použití sudu

Protože využívání dřevěných sudů ke zrání nápojů je náročnější finančně i na obsluhu, je výhodné je používat jen pro dostatečně kvalitní vína, jako jsou například dlouhozrající suchá bílá, u kterých se dřevité aroma přijatelně vměstná do celkového buketu. Stejně tomu však není u suchých bílých vín ovocitého charakteru určených ke konzumaci v mladém stavu, jelikož by byla ovocitost dřevovitým vjemem překryta (Michlovský & Khafizova 2016a). Je také na místě využívat nádobu při více než jednom staření. S tím jsou ale spojeny změny v množství extraktivních látek, které by nápoj měly obohatit, a částečně i propustnost pro kyslík, a s tím související míra odpařování nápoje. Dříve použitá nádoba však může mít i pozitivní sensorický přínos, jelikož předchozí zde stařený nápoj může vhodně doplnit charakter toho stávajícího.

S rostoucím počtem použití klesá extrakce látek a tím i dodávaný sensorický přínos. Prokázalo se, že míra této extrakce byla v jednoletých sudech nižší než v sudech nových

a stejně tak ve dvouletých sudech byla nižší než v jednoletých. Ve druhém roce se výrazně snížily hladiny sloučenin spojených s fází opékání, jako jsou laktony, které jsou pro sensorické vlastnosti vína zásadní. Nové sudy také poskytly více fenolických látek, například gallové a elagové kyseliny (Jordão & Cosme 2022). Víno z použitého sudu na druhé straně bylo chudší na terpeny ( $\beta$ -citronellol,  $\beta$ -linalool), ale zato bohatší na alkoholy (3-methylbutan-1-ol), acetoin, estery (ethyl oktanoát, ethyl laktát) a acetaldehyd (Maioli et al. 2022). Více acetaldehydu je způsobeno vyšší rychlostí jeho tvorby než spotřeby v důsledku kondenzačních reakcí, zatímco víno z nového sudu ho spotřebovává rychleji v důsledku vyššího uvolňování ellagitaninů (Guerrini et al. 2022). Obecně se vína z nových sudů znatelněji sensoricky profilovala v dřevitých, vanilkových, kořeněných a cedrových tónech. Naopak u vín z použitých sudů se vyskytovaly i tóny farmaceutické, bylinné a koňské (Jordão & Cosme 2022). Poslední z nich mohou být vysvětleny kontaminací mikroorganismy. U již dříve použitých sudů totiž hrozí, že se v trhlínách a spárách dužin uchytí plísně či divoké kvasinky, začnou se zde množit a způsobovat negativní živočišné pachy a chutě (Michlovský & Khafizova 2017b). Jednou z takových kvasinek je *Brettanomyces bruxellensis*, která přeměňuje skořicové kyseliny na ethylfenoly (4-ethylguajakol a 4-ethylfenol). Nejen pro kvalitu nápoje, ale i životnost sudu, je tedy důkladná péče o sudy zásadní (Rubio-Bretón et al. 2018).

Stáří sudu má vliv na rychlost prostupu kyslíku: čím je sud starší, tím kyslík prostupuje pomaleji, protože póry dřeva se postupem času zanášejí usazeninami vína (Guerrini et al. 2022). Od množství přijatého kyslíku se však odvíjí i změny sensorických vlastností nápoje, například barva, která se s časem stráveným v sudu mění. Podle studie Prat-García et al. (2020b) se intenzita barvy vín v prvním půl roce zvýšila díky tvorbě anthokyanových pigmentů. Do dvanácti měsíců byl pozorován mírný pokles barvy, větší u více okysličovaných vín (Prat-García et al. 2020b). V používaném sudu dochází k uvolňování ellagitaninů a prostupu kyslíku pomaleji než v případě zcela nového. Z toho vyplývá, že k dosažení podobné úrovně barevné stability vína je u staršího sudu zapotřebí delší doba zrání (Maioli et al. 2022).

V souhrnu lze říci, že pro zdárné vyzrání nápoje je třeba aplikovat vhodnou dobu staření a sud dostatečných kvalit. Odhad maximálního počtu cyklů sudu je často založen na zkušenostech výrobce a jeho přecenění i podcenění může způsobit zvýšené náklady a zhoršení kvality vína či destilátu. Proto je žádoucí před znovunaplněním stanovovat aromatické látky obsažené ve dřevě (Chalyan et al. 2022).

### **3.7 Látky dřeva ovlivňující sensorickou stránku zrajících nápojů**

V dřívějších dobách byla hlavním účelem dřevěných sudů přeprava různých ať už kapalných, či pevných materiálů. Postupně ale začaly být tyto nádoby ceněny pro svou schopnost modulovat sensorické vlastnosti nápoje uvnitř, a to ve třech hlavních ohledech – vůni, barvě a chuti (Martínez-Gil et al. 2022a). Výsledná organoleptika vína či destilátu je výsledkem interakcí mnoha látek vyzrávané tekutiny s těmi extrahovatelnými ze sudu. Rolí hrají hlavně jejich prahy vnímání, vzájemná relativní koncentrace jednotlivých

aromatických látek nebo doba kontaktu dřeva a tekutiny, na které závisí množství uvolněných sloučenin. Hlavní podíl na celkovém aroma, které nápoj zráním získává, mají přirozené látky dřeva (např. dubové laktony) nebo látky, které vznikají zejména při fázi opékání vznikajících sudů. Druhé z nich jsou chemicky různorodé, nicméně všechny vznikají tepelnou degradací polysacharidů dřeva (celulóza, hemicelulózy a lignin) (González-Centeno et al. 2016). Hlavními sloučeninami, které se ze sudu uvolňují, jsou fenolové aldehydy a ketony, furanové sloučeniny (furfural, hydroxymethylfurfural, furfurylalkohol a 5methylfurfural), těkavé fenoly (eugenol, guajakol, 4-methylguajakol, ethylguajakol, vinylguajakol) a  $\beta$ -methyl- $\gamma$ -oktalaktony (Jordão & Cosme 2022).

### 3.7.1 Polyfenoly

Polyfenoly jsou jednou z nejpočetnějších skupin rostlinných látek. V rostlinách jakožto sekundární metabolity plní obrannou funkci proti hmyzu, bakteriím či jiným škodlivým vlivům. Je známo přes 8000 fenolických struktur. Nejjednodušeji lze dělit na kondenzované a hydrolyzovatelné třísloviny. První z nich přichází do vína spolu s hrozny a druhé extrakcí z dubového dřeva sudu (Basalekou et al. 2019). Během vyzrávání vína plní zásadní roli a díky množství hydroxylových skupin také disponují žádoucími silnými antioxidačními účinky (Zhang et al. 2015).

Kondenzované třísloviny, též proanthokyanidiny, mají ve svém základu flavonoidní jádro. Důležité jsou zejména katechiny (flavan-3-oly) a jejich kondenzované formy (epikatechin, gallokatechin, epigallokatechin, epikatechin gallát a epigallokatechin gallát), které se jako podjednotky mohou účastnit tvorby polymerních struktur (Basalekou et al. 2019). Monomerní katechiny jsou více hořké než kondenzované polymery. Přesněji, katechiny jsou hlavně hořké, středně dlouhé kondenzované třísloviny hořké i trpké, a větší struktury již spíše trpké. Hořkost a trpkost tedy působí často kombinovaně (Stávek & Tkáčiková 2011). Nadměrný obsah katechinů je ve světlých vínech problematický, jelikož se projevuje tzv. „hořčinkou“ a oxidací těchto látek vznikají nežádoucí hnědé pigmenty (Kumšta 2016). Drhnoucí pocit na jazyku vzniká vazbami těchto polyfenolů a bílkovin – glykoproteinů slin, respektive vazbou mezi skupinou aminovou a thiolovou. Tou dochází k denaturaci proteinů slin, které tak ztratí viskozitu, což se projevuje vyšším třením na jazyku. Současnou konzumací pokrmu bohatého na bílkoviny je tato reakce ještě zesílena. Na druhou stranu mohou kyselejší vína vyvolávat větší produkci slin, trpkost je tedy ovlivněna i hodnotou pH. V průběhu zrání ovšem vznikají tak velké polymery, že již nejsou schopné efektivně reagovat se zmíněnými bílkoviny, vjem trpkosti tak ustupuje a nápoj je jemnější či „kulatější“. Tato vlastnost je charakteristická zejména pro červená vína, jelikož se při jejich výrobě uplatňuje macerace se slupkami, jejichž barviva poskytnou ony fenolické látky. Intenzita a trvání trpkosti se zvyšuje s dávkováním při ochutnávání. Jinak tedy bude chutnat v pořadí první a dvacáté víno (Stávek & Tkáčiková 2011). Jiní autoři ovšem uvádějí, že s prodlužujícím se řetězcem polymerní struktury se zvyšuje i schopnost vázat se s bílkoviny (Basalekou et al. 2019).

Druhou polyfenolickou skupinou jsou třísloviny hydrolyzovatelné, které lze charakterizovat jako oligomerní deriváty kyseliny gallové a elagové (gallotaniny a ellagitaniny) (Basalekou et al. 2019). Ellagitaniny jsou přítomné v bělovém i jádrovém dřevu dubu a přispívají k chuti a struktuře vína, zejména k jeho trpkosti. Hlavními ellagitaniny jsou kastalagin, veskalagin, grandinin a roburin. Množství, které se uvolňuje do stařeného nápoje závisí mimo jiné na botanickém a zeměpisném původu stromu, bednářském zpracování nebo počtu předchozích použití (Gombau et al. 2022).

Pokud jde o barvu především červeného vína, základní odstín určuje odrůda hroznů. Během zrání v dřevěných sudech však dochází k tvorbě stabilnějších polyfenolických pigmentů za přiměřené oxidace kyslíkem, což způsobuje přechod z temně rudé barvy na světlejší červenou až nahnědlou. Bílá vína spíše zlátnou až bronzovají. Taková reakce bývá nevratná a původní odstín se již nevytvoří. Časem k takové reakci dochází vždy, předčasné hnědnutí je ale chybou vína. Brzká oxidace se vyžaduje jen výjimečně, například u Tokajských nebo oranžových vín (Furdíková 2020). Jde o poměrně atraktivní skupinu, která vzniká zpravidla díky delšímu naležení bílých, červených nebo šedých hroznů. Toto netradiční zpracování se promítne i v chuti a aroma nápoje. Taková vína nejsou typicky svěží a ovocitá, ale spíše bylinná, čajová nebo lesní a navíc je doprovází mírný tříslovinný pocit, což u světlých vín není běžné (Kopička 2013).

V poslední řadě, intenzivní barva vína nemusí být nutně zárukou kvality. K tomuto účelu lze totiž využívat komerční preparáty, které při výrobním procesu podpoří extrakci barviv hroznů. Takový zákrok může poukazovat na opomíjení specifické barvy odrůdy vinařem (Kopička 2013).

### 3.7.1.1 Fenolické kyseliny

Fenolické kyseliny jsou jedny z nejhojnějších fenolických sloučenin, které se v dubovém (i např. kaštanovém) dřevě nacházejí. Tyto bioaktivní sloučeniny vznikají při fázi opékání tepelnou degradací gallotaninů, ellagitaninů a ligninu. Vyskytují se volné nebo ve formě esterů či glykosidů. Hlavními skupinami těchto kyselin jsou hydroxybenzoové a hydroxykořicové kyseliny. Mezi ty hydroxybenzoové patří například kyseliny gallová, syringová, salicylová, vanilová a protokatechová. Nejčastějšími zástupci druhé skupiny jsou kyselina kávová, p-kumarová, ferulová nebo sinapová (Zhang et al. 2015).

Mezi nejvýznamnější fenolické kyseliny zrajících alkoholických nápojů jsou kyselina gallová a elagová. První z nich je velmi reaktivní díky třem hydroxylovým a jedné karboxylové skupině ve své struktuře. Řada studií zkoumala úlohu kyseliny gallové, elagové a jejich derivátů se zaměřením na jejich antioxidační, protizánětlivé, antimikrobiální, protinádorové, kardioprotektivní, gastroprotektivní a neuroprotektivní účinky. Lze říci, že požívání těchto sloučenin v přiměřené míře nápoje může mít příznivé zdravotní účinky, na rozdíl od poškození způsobeného ethanolem (Fernandes et al. 2022).



Jiné studie zjistily, že fenolické kyseliny silně ovlivňují barvu červených vín. Přispívají totiž k zesílení a stabilizaci pigmentů prostřednictvím kondenzačních reakcí. Zejména hydroxyskořicové kyseliny mohou být zodpovědné až za 70 % barvy (Zhang et al. 2015).

### 3.7.1.2 Těkavé fenoly

Těkavé fenoly jsou heterogenní skupinou látek s různým sensorickým dopadem. Některé působí v souhře s charakterem nápoje, jiné mohou být značně nežádoucí, v závislosti na jejich koncentraci. Každopádně se jejich vyluhováním mění aromatický profil nápoje. Hlavními zástupci, pokud jde o zrání vína a destilátů, jsou eugenol, trans-iso-eugenol, guajakol, methylguajakol, ethylguajakol, vinylguajakol, ethylfenol a vinylfenol (Zhang et al. 2015). Eugenol a jemu příbuzné látky vznikají při rozkladu ligninu během sušení dřevěných dužin na vzduchu a s prahem vnímání 0,5 ppm poskytují velmi příjemnou hřebíčkovou kořeněnou vůni (Jordão & Cosme 2022).

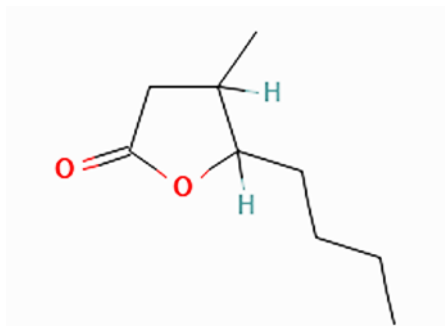
Guajakol i se svými deriváty přispívají s prahem detekce od 0,05 ppm spíše k uzeným a pečeným tónům. V přiměřené koncentraci je účinek příjemný, při vysokých koncentracích lze však vnímat nepříjemné aroma spáleného chleba. Podobně i methyl- a ethyl-4-guajakol připomínají spálené dřevo (Gombau et al. 2022). Naproti tomu vinylguajakol poskytuje aroma hřebíčku, dubu a někdy je dokonce uváděna vůně po karafiátu. Zmíněné deriváty mohou vznikat činností kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*, která dekarboxyluje určité fenolické kyseliny za vzniku těkavých fenolů. Podobně může vzniknout například vinylfenol s farmaceutickým vjemem. Divokými kvasinkami a v menší míře bakteriemi mléčného kvašení může ale být transformován na ethylfenol, který je ve vínech spíše nežádoucí. Způsobuje totiž nepříjemný zápach po koňském potu, kůži či sedle. Ovšem jsou i spotřebitelé, kteří tzv. Brett charakter dokonce vyhledávají (Michlovský & Khafizova 2017a).

Tepelnou degradací ligninu vzniká v neposlední řadě další sensoricky aktivní látka, a to vanilin. Jde o hlavní aromatickou složku přírodní vanilky, vyskytující se taktéž v různých druzích dubu, kaštanu, třešně, akátu a jasanu. Je nejdůležitější nízkomolekulární sloučeninou, která přispívá ke sladkým a vanilkovým tónům, pokud se vyskytuje v koncentracích nad prahem vnímání (0,3 ppm). Navíc působí synergicky s dubovými laktony. Mezi podobné fenolické aldehydy patří syringaldehyd, sinapaldehyd a koniferaldehyd, které ale nemají velký sensorický přínos (Jordão & Cosme 2022).

### 3.7.2 Dubové laktony

Dubové či whisky laktony jsou hlavní složkou vůně čerstvého dubu, poskytující až karamelové a kokosové aroma. Strukturně (viz Obrázek 5) jde o  $\beta$ -methyl- $\gamma$ -oktalaktony vyskytující se ve formě dvou izomerů – cis a trans. Čichový práh detekce cis izomeru je mnohem nižší (až 5krát) než u druhého, a proto je ze sensorické stránky mnohem významnější (Gombau et al. 2022). Může také společně s vanilinem přispívat k příjemnému aroma vanilky,

což je velmi důležité zejména u destilátů jako je whisky, bourbon, rum nebo brandy (Carpena et al. 2020), dále může zjemňovat chuťový vjem. Množství této látky ve dřevě sudu je významně ovlivněno fází opékání a samozřejmě i druhem dřeviny, kde se může přirozeně vyskytovat. Uvádí se, že whisky laktonů je více v amerických dubech než evropských, jelikož jsou bohatší na lignin, jehož tepelnou degradací jeho množství vzrůstá. Nicméně pro jeho projev v nápoji nejsou vysoké koncentrace nutné (González-Centeno et al. 2016).



Obrázek 5. Chemický vzorec whisky laktonu (Zdroj: National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Whiskey-lactone>)

### 3.7.3 Furanové látky

Jde o skupinu heterocyklických aromatických látek, jejíž neznámějším zástupcem je furfural a jeho deriváty (5-methylfurfural, hydroxymethylfurfural a furfurylalkohol). Vznikají taktéž při fázi toastování rozkladem sacharidů dřeva. Samy o sobě poskytují příjemnou vůni po pražených mandlích, másle, karamelu či kouři, nicméně aroma nápoje ovlivňují jen omezeně, jelikož jejich práh vnímání je poměrně vysoký (20 mg/l pro furfural, 45 mg/l pro 5-methyl furfural) a nedosahují ho. Furfural však může reagovat se sulfanem za vzniku furfurylthiolu, těkavé látky s příjemným kávovým aroma (Gombau et al. 2022). Navíc bylo zjištěno, že má významný pozměňující účinek na aroma whisky laktonů, kdy se zvyšující se hladinou furfuralu (nad 10 ppm) ustupuje dřevitější vjem, zatímco karamelovo-vanilkový tón se zvýrazňuje (Chira & Teissedre 2014). Samostatně tedy furfural vystupuje v organoleptické stránce alkoholických nápojů téměř nezatelně, nicméně jeho vliv na modulaci jiných aromatických sloučenin je nezanedbatelný.

### 3.7.4 Pyrroly a pyraziny

Vedle zmíněných sensoricky aktivních látek jsou zajímavé i dusíkaté heterocykly s pěti- a šestiuhlíkatými kruhy – pyraziny, pyrroly. Jde o silně aromatické sloučeniny přispívající k vůni po čokoládě, lískových oříšcích, arašidech či kávě. Jsou to klíčové látky pro typický charakter skotské whisky a bourbonu. Vznikají při tepelném zpracování Maillardovou reakcí, při výrobě lihovin tedy například během destilace a sladování, zaznamenány byly ale také v opečeném až zuhelnatělém dubovém dřevě (Picard et al. 2021). Substituce na aromatickém jádře může významně změnit jejich aroma, konkrétně adice ethylenové skupiny vede k posunu

hořké mandlové vůně ke spíše skořicové, květinové či kořeněné. Dále bylo zjištěno, že vůně pyrazinů s nízkou alkylovou substitucí (do 5 uhlíků) byla vnímána jako čokoládová a pražená, zatímco vyšší substituce působila více zemitě a „zeleně“. Lze tedy říci, že mají zajímavý vliv na sensorickou stránku alkoholických nápojů, dosud však tato problematika nebyla dostatečně popsána (Goullet et al. 2023).

## 3.8 Druhy dřevin pro zrání alkoholických nápojů

### 3.8.1 Dubové dřevo

Dub (*Quercus* spp.) je nejvyužívanější dřevinou pro výrobu sudů ke zrání alkoholických nápojů, zejména vín. Odhaduje se, že přibližně 25 % vín vyrobených v Evropské unii v současné době zraje právě v dubových sudech. Je tomu tak nejen pro jeho dostatečnou tvrdost a zároveň pružnost, ale i pro schopnost přiměřené oxidace stařeného nápoje a uvolňování tříslovin a aromatických sloučenin (Chalyan et al. 2022). Do rodu *Quercus* se řadí více než 250 druhů, ale někteří autoři jich uvádějí až 600. Většina z nich roste v mírném pásmu severní polokoule, přičemž počet druhů se zvyšuje směrem od východu na západ. Tento rod se dělí na dva podrody, a to *Cyclobalanopsis* a *Euquercus*. První z nich zahrnuje tropické druhy, které se pro enologické účely nevyužívají, zatímco druhy z druhého podrodu se používají v bednářství pro výrobu sudů. Nejvyužívanější z nich patří do skupiny bílých dubů, pro kterou je charakteristický americký dub bílý (*Quercus alba* L.), jsou zde však zahrnuty i další druhy, jako *Quercus montana* Willd. nebo *Quercus virginiana* Mill.. Americké duby se od evropských druhů liší tím, že jsou odolnější a mají větší hustotu, s čímž souvisí nižší pórovitost a propustnost. Kromě toho jsou bohatší na thyly, díky čemuž je lze při zpracování řezat, aniž by byla narušena jejich vodotěsnost. Naopak francouzské sudy se kvůli nepravidelnější a poréznější struktuře spíše ručně štípají, což je postup pracnější, nákladnější a vede k větším ztrátám dřeva. Proto mohou být takové sudy až 4krát dražší než americké (Martínez-Gil et al. 2018).

V Evropě se největší produkční plochy lesů kvalitních ceněných dubů nacházejí ve Francii, kde pokrývají asi 9 % celkové rozlohy země. Zvláště známými oblastmi jsou severovýchodní regiony Allier a Limousin (Martínez-Gil et al. 2018). Tamní nejvyužívanější sudařskou dřevinou je dub zimní [*Q. petraea* (Matt.) Liebl.]. Disponuje jemnozrnným dřevem, které v kontrastu s hrubozrnným poskytuje větší množství  $\beta$ -methyl- $\gamma$ -oktalaktonu a dalších aromatických a fenolických látek. Hrubší zrnitost je charakteristická pro dub letní (*Quercus robur* L.), který je naopak méně aromatický, ale zato extrahuje větší množství tříslovin, což může mimo jiné přispět k výraznější barvě a chuti produktu. Není tedy příliš vhodný pro zrání bílého vína, častěji se využívá při staření destilátů, jako je brandy (Michlovský & Khafizova 2016a). Společně s dubem bílým (*Quercus alba* L.) představují tyto dva zmíněné druhy obecně nejvyužívanější duby pro zrání alkoholických nápojů (Martínez-Gil et al. 2018; Jordão & Cosme 2022).

Trendem je ale i experimentování s méně obvyklými druhy dubů, jako jsou dub portugalský (*Quercus faginea* Lam.), dub pýřitý (*Quercus pubescens* Willd.) nebo dub pyrenejský (*Quercus pyrenaica* Willd.) (Jordão & Cosme 2022). Poslední z nich se zdá být pro zrání velmi zajímavý, zejména pokud jde o rupy. Jeho pražené dřevo vykazuje významné obsahy guajakolu, cis isoeugenolu a syringolu, vyšší než u tradičních druhů. Je však chudé na furfural a dubové laktony, kvůli čemuž postrádá typické kokosové aroma. Ačkoli se skladba těkavých látek alternativních dubů ve srovnání s těmi tradičními liší pouze kvantitativně, mohly by stařeným nápojům poskytnout odlišné tóny ceněné spotřebiteli (Martínez-Gil et al. 2022a).

V dřevě dubů lze nalézt vysoký obsah těkavých látek s významným vlivem na sensorické vlastnosti vína či destilátu. Jsou to obecně  $\beta$ -methyl- $\gamma$ -oktalaktony (cis i méně aromatické trans izomery), často ve větším množství u amerických druhů. Poměr cis a trans dubových laktonů je druhově specifický. Jejich nejvyšší koncentrace byly zjištěny u dubu bílého, následované dubem zimním, přičemž u obou byla více zastoupena forma cis. Velmi nízké koncentrace byly zjištěny i ve dřevě třešně, akátu nebo kaštanu. Další položkou jsou ellagitaniny, tvořící důležitou frakci extrahovatelných látek dřeva. Jejich obsah v dřevině je obecně ovlivněn faktory, jako je botanický druh, zeměpisný původ, stáří jádrového dřeva a významně tepelným zpracováním při výrobě sudu. Nejmenší množství těchto látek obsahuje dub bílý, následuje dub zimní a největší obsah se nalézá u dubu letního. Evropské druhy jsou tedy na ellagitaniny bohatší než americké. Dub bílý extrahuje na druhou stranu více furfuralu, výrazně více eugenolu a obsahuje více vanilinových sloučenin, což stařenému nápoji dodává celkově sladší chuť (Jordão & Cosme 2022). Studie, která srovnávala víno stažené v sudech z různých druhů dubů zjistila, že dub bílý dodal nápoji vyšší obsah aroma než u dubů pyrenejského, portugalského, letního i zimního. Zdá se tedy, že pro delší zrání jsou sudy z amerického dubu optimální, pokud výrobce hledá vyšší podíl dřevito-kokosových vůní (cis dubový lakton), vůní po koření (eugenol a guajakol), pražených oříšků a karamelu (furanové látky) a vůní po vanilce (vanilin a syringaldehyd) (Martínez-Gil et al. 2022a).

V poslední době je zkoumán potenciální enologický přínos dubu pyrenejského. Tato dřevina je rozšířena ve středomořských oblastech, jako je západní Francie, Portugalsko, nejvíce však ve Španělsku, v nemalém rozpětí nadmořských výšek. Tradičně se toto dřevo používá na výrobu železničních pražců a lodí a zdá se, že využití pro výrobu sudů je jen omezené vzhledem k vysokému počtu nekvalitních stromů (například příliš sukovitých nebo pokroucených). Anatomické vlastnosti tohoto materiálu (hustota, zrnitost, propustnost) jsou však pro zrání alkoholických nápojů vhodné. Vína vyzravaná v dubu pyrenejském se blíží těm z francouzského dubu letního, což znamená, že je vhodný pro výrobu jakostních vín. Kromě toho má vysoký obsah eugenolu, guajakolu a dalších těkavých fenolů, zatímco obsah dubových laktonů je podobný dubu bílému. Při degustacích bývají vína po sudech z tohoto dubu ceněna více než stejná vína ze sudů po americkém nebo francouzském dubu. Navíc po zrání se štěpkami *Quercus pyrenaica* Willd. vykazovala vyšší intenzitu a komplexnost aroma a dřevité až kakaové tóny (Martínez-Gil et al. 2018).

### 3.8.2 Alternativní dřeviny

Díky rostoucí poptávce po bednářské surovině a hledání nových možností dodání zvláštního charakteru vínům či destilátům, se vedle pokusů s neklasickými druhy dubů hledá využití u různých alternativních nedubových dřevin. Některé se používají již mnoho let, jde například o trnovník akát (*Robinia pseudoacacia* L.), třešeň ptačí (*Prunus avium* L.), kaštanovník jedlý (*Castanea sativa* Mill.), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior* L.) či morušovník bílý (*Morus alba* L.) a morušovník černý (*Morus nigra* L.). Někteří výrobci navíc ve snaze snížit náklady dávají přednost místním dřevinám, ne nutně dubům (Martínez-Gil et al. 2022a).

#### 3.8.2.1 Trnovník akát (*Robinia pseudoacacia* L.)

Tento druh byl zavlečen do Evropy ze Spojených států a rychle se adaptuje. Jeho dřevo je tvrdé, méně pórovité a cena sudů se pohybuje někde mezi francouzským a americkým dubem, zdá se proto být pro zrání alkoholických nápojů využitelný (Martínez-Gil et al. 2018). Jeho jádrové dřevo obsahuje podstatné množství flavonoidů robinetinu a dihydrorobinetinu, které jsou v bednářství charakteristické pouze pro tuto dřevinu. Kromě toho obsahuje významné koncentrace vanilinu, eugenolu, syringaldehydu a  $\alpha$ -terpineolu. Víno zrající v akátovém dřevě tak může být spojeno s vanilkovým až máslovým aroma. Nedávná studie se zabývala stavem vína Malvazija po 12 měsících zrání v akátových sudech a zaznamenala, že po této době vykazovala jemnější strukturu a výraznější vanilkovo-kořenitý až ořechovo-medový vjem než vína z dubových sudů (Jordão & Cosme 2022). Jiný autor uvádí, že se u červených vín uchovávaných v sudech z akátu vyskytují tóny ovocné, kouřové a kořeněné, což může souviset s vyšším obsahem mono- a dimethoxyfenolů či ethylvanilátu. Tato vína společně s dubovými byla lépe sensoricky hodnocena v porovnání s víny z třešně, kaštanu nebo jasanu (Martínez-Gil et al. 2018).

#### 3.8.2.2 Kaštanovník jedlý (*Castanea sativa* Mill.)

Tato dřevina se vyskytuje v jižní Evropě a Asii, kde je hojně pěstována pro své jedlé plody. Významného množství škrobu v nich se využívá při výrobě potravin, léčiv, papíru, plastu, textilií nebo kosmetiky. Již v minulosti byl kaštanovník hojně využíván pro enologické účely díky nízké ceně a široké dostupnosti. Sudy z tohoto dřeva jsou ke stažení alkoholických nápojů vhodné, protože obsahují vyšší množství nízkomolekulárních a fenolických látek a tím poskytují vyšší antioxidační aktivitu (Martínez-Gil et al. 2018). Obecně, pokud jde o obsah polyfenolů, je kaštanové dřevo nejsrovnatelnější s tím dubovým. Na druhou stranu je toto dřevo chudé na dubové laktony, stejně jako jiné alternativní dřeviny a obsahuje také velmi nízké množství dvou hlavních ellagitaniinů - vescalaginu a castalaginu (Jordão & Cosme 2022). Zejména po středním opékání toto dřevo vykazuje vyšší množství sloučenin, jako jsou fenolové aldehydy a ketony (např. vanilin, syringaldehyd, acetovanilon, butyrovanilon), těkavé fenoly (guajakol, eugenol či syringol) nebo furanové sloučeniny (furfural, 5-methylfurfural,

5-hydroxymethylfurfural) než dřevo klasického dubu. Po opékání jde tedy o aromaticky velmi bohatý a zajímavý materiál (Martínez-Gil et al. 2022a).

Pokud jde o zrání vína, toto dřevo není vhodné pro dlouhodobé zrání, zejména pro jeho vysokou pórovitost. Pokud by zde byl nápoj stařen příliš dlouho, mohlo by dojít ke vzniku aromaticky nežádoucích látek (4-ethylfenol a 4-ethylguajakol), jelikož kaštanové dřevo umožňuje oxidativnější prostředí než dub. Výborně se však hodí pro krátkodobé zrání, kterým se dají získat velmi vyvážená vína. Navíc jde o vhodnou alternativu k francouzskému dubu Limousin, a tudíž ho lze dobře využít pro zrání brandy. (Martínez-Gil et al. 2018).

### 3.8.2.3 Jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior* L.)

Rod jasan je rozšířen po celé Evropě, severní Africe a Malé Asii, nejlépe se mu daří v oceánském klimatu. Jeho jádrové dřevo obsahuje obvyklé těkavé sloučeniny, které se dají nalézt u ostatních bednářských dřevin. Výjimkou je tyrosol, který se po opečení vyskytoval pouze v tomto dřevě, a to ve vysokých koncentracích. Kromě těchto látek disponuje po opékání vyšším obsahem některých těkavých sloučenin, například katecholu, guajakolu, syringolu, vanilinu, maltolu, 2-fenoxyethanolu, 2-furanmethanolu nebo 3-hydroxybenzaldehydu. Na druhou stranu je jasan poměrně chudý na furanové sloučeniny (Martínez-Gil et al. 2022a).

V provedené studii, kde víno zrál v sudech z alternativních dřevin, bylo zaznamenáno, že vzorky z jasanových sudů se od ostatních lišily vysokým obsahem vanilinu,  $\alpha$ -methylkrotonalaktonu, 3,5-dimethylcyklotenu, o-kresolu a naopak nízkou hladinou furanových derivátů. I přes zmíněné významné množství vanilinu mělo víno zrající v dubu při sensorické zkoušce vyšší hodnocení ve vanilkových tónech (Martínez-Gil et al. 2018).

### 3.8.2.4 Třešeň (*Prunus* sp.)

Třešňové dřevo je vysoce pórovité a nejčastěji se proto využívá pro kratší dobu zrání. Vysokou propustností kyslíku dochází k rychlejší stabilizaci pigmentu vína, tím pádem po přiměřenou dobu k zachování vysoké intenzity barvy. V porovnání s vyzráváním vína v dubovém sudu dochází v tom třešňovém k rychlejšímu poklesu flavonolů a flavanolů (díky účasti na kondenzačních reakcích) a není proto vhodné k dlouhodobějšímu staření. Dřevo třešně obsahuje vyšší množství prokyanidinů a katechinu, na druhou stranu po opékání jen malé hladiny furanových sloučenin. Lze zde také nalézt některé flavonoidy (např. naringenin, aromadendrin, taxifolin) a fenolické kyseliny s jejich estery (kyseliny benzoová, p-kumarová, methylvanilát, methylsyringát) (Jordão & Cosme 2022). Množství syringaldehydu je zejména po pékání vyšší než u klasických bednářských druhů (Martínez-Gil et al. 2022a).

### 3.8.2.5 Morušovník (*Morus* sp.)

Tento rod se vyskytuje v Evropě, Asii, Africe i Americe, kde je využíván zejména jako hostitelská rostlina pro larvy bource morušového. Mimoto je pěstován okrasně i pro jedlé plody. Pro účely zracích nádob se uvažuje o morušovníku bílém (*Morus alba* L.) a černém (*Morus nigra* L.). Jejich dřevo je křehké, ale zároveň pružné, se střední pórovitostí a nízkou extrahovatelností sloučenin. Oproti jiným alternativním dřevinám a dubům byl nejnižší obsah těkavých látek zaznamenán právě u morušovníku, navíc s nežádoucím obsahem mastných kyselin. Na druhou stranu se tato dřevina zdá být zajímavá pro vyšší koncentrace katechinu a resveratrolu, který bývá spojován s francouzským paradoxem (Martínez-Gil et al. 2018). Po fázi opékání byly u morušovníkového dřeva zaznamenány jen nízké koncentrace vanilinu a syringaldehydu, nicméně zejména v případě vanilinu vykazovaly významné extrakční procento, které se značně lišilo od dřeva dubového, pravděpodobně v důsledku rozdílné pórovitosti dřevin (Martínez-Gil et al. 2022a). Značným nedostatkem může být zjištění, že červená vína vykazovala po stažení v morušovníkových sudech výrazné snížení ovocně vonných ethylesterů a ethylguajakolu (Jordão & Cosme 2022).

## 3.9 Alternativní materiály zracích nádob

Vedle tradičních dřevěných sudů se zvláště ve vinařství uplatňuje množství alternativních materiálů se specifickými vlastnostmi a potenciálem pro vývoj nápoje. Jejich použitím lze z jedné odrůdy hroznů získat různá vína. Veskrze se jedná o nádrže z betonu, nerezové oceli, keramiky, polyethylenu, skla, žuly či nádoby hliněné. Navíc lze materiály v rámci jedné nádrže kombinovat. Výběr tanku by měl být proveden s ohledem na jeho specifický vliv na fyzikálně-chemické vlastnosti stažené tekutiny, s přihlédnutím k odrůdovým vlastnostem v případě hroznů a k technologickému cíli, aby bylo dosaženo požadovaným organoleptickým charakteristikám. Každý druh materiálu se například vyznačuje různou propustností pro kyslík, což ovlivňuje reakce probíhající uvnitř nádoby (Maioli et al. 2022). Trendem jsou také různé tvary zracích nádob, od klasických kulatých, přes stále častější oválné až po netradiční ve tvaru kvádru, jejichž výhodou je snadnější skladovatelnost. Tvar dna nádoby určuje kontaktní plochu mezi tekutinou a usazenými pevnými látkami. Existuje také hypotéza, že oválný tvar podporuje v tekutině vznik konvekčních proudů, což podporuje pohyb zde usazených makromolekulárních látek, čímž se zvyšuje jejich rozpouštění. Pro používání alternativních nádob jsou i další důvody. Pro svou relativně nízkou kapacitu umožňují produkovat vína z jedné vinice nebo prémiová vína z výběrů hroznů. Přestože se tyto méně klasické nádrže využívají stále častěji, vědecká literatura o jejich vlivu na chemické složení výsledných vín není příliš rozsáhlá (Gil i Cortiella et al. 2021).

Maioli et al. (2022) prováděli studii, ve které nechávali rok zrát víno Sangiovese v nádobách z různých materiálů (dřevo, beton, nerezová ocel a hliněná amfora), přičemž se hodnotil jejich vliv na chemické a sensorické vlastnosti nápoje. Výsledky ukázaly, že vzorek

z dřevěného sudu vykazoval nejvyšší hodnoty fenolů, přičemž nový sud jich dle očekávání poskytl více než použitý. Nejvyšší barevná intenzita byla zaznamenána u nového dubového sudu a hliněné amfory. Stejně nádoby také vykazovaly nejnižší hodnoty ethanalů, což bylo pravděpodobně způsobeno spotřebou této molekuly na tvorbu barevných pigmentů, ethanal totiž tyto kondenzační reakce zprostředkovává. Víno z amfor bylo také nejvíce vyvinuté z hlediska stabilní barvy, vyznačovalo se vysokým obsahem esterů, fenylmethanolu (poskytující květinový, balzamický nebo mandlový tón) a intenzivnější minerální a odrůdovou chutí. Víno z nerezové oceli bylo výjimečné nejnižším obsahem acetátů a nejvyšším obsahem mastných kyselin (Maioli et al. 2022).

Velmi podobná studie z předešlého roku poznatky doplňuje. Pozoruje, že nejpomaleji tvořila polymerní pigmenty vína z nerezové nádoby, což je vzhledem k nepropustnosti kyslíku a nevyuhování fenolických látek logické. Nejrychlejší růst byl naopak zaznamenán u nového dubového sudu a hliněné amfory, u které neexistuje žádné jasné vysvětlení tohoto jevu. Epoxidem potažený beton neumožňuje žádné výměny, a tak společně s nerezovou ocelí umožňovaly změny redoxního stavu vín pouze v minimální míře, což je v kontrastu s ostatními materiály (Guerrini et al. 2022). Naproti tomu nádrže hliněné, polyethylenové a ty z nepotaženého betonu umožňují pronikání určitého množství kyslíku, čímž je nápoj pomalu okysličován, podobně jako je tomu v dřevěných sudech (Gil i Cortiella et al. 2021).

Ačkoli hlavní dopad na vlastnosti výsledných vín mají použité hrozny a zvolená technologie výroby, nelze vliv materiálů zracích nádob opomíjet. Použití různých typů nádrží může být užitečné při úpravách některých vlastností vína, i když je rozsah takového zásahu omezený (Gil i Cortiella et al. 2021).

### 3.9.1 Keramika

Keramické nádrže jsou (např. oproti těm betonovým) vysoce chemicky odolné vůči silným kyselinám, což je výhodou při sanitaci, a jsou také lehčí, což usnadňuje manipulaci. Díky mikropórům ve svých stěnách umožňuje tento materiál výměnu plynů (ovšem nižší než u dřevěného sudu), ale zároveň zabraňuje nadměrnému vypařování kapaliny. Oproti dřevu také keramika absorbuje tekutinu jen velmi omezeně, což s ohledem na předchozí vlastnost zabraňuje většímu úbytku nápoje během zrání. Díky tloušťce stěn je během stažení umožněna vysoká tepelná setrvačnost, což je žádoucí, protože při této fázi je konstantní teplota vhodná. Poměrně populární jsou tyto nádoby ve tvaru koule. Tento tvar totiž v případě nakvácení udržuje mošt v kontaktu se slupkami a je tak podpořena extrakce barviv. Dále umožňuje konstantní promíchávání moštu a kalů, čímž přispívá k homogenitě výrobku (Khafizova 2016). Burg a Zemánek (2022a) navíc uvádějí, že výsledky hodnocení kvality vína v řadě zahraničních vinařských provozů naznačují pozitivní efekt kombinovaného zrání vína v tradičních dřevěných sudech s následným zráním v nádobách z mikroporézní keramiky.



### 3.9.2 Žula

Žula má potenciál jako zajímavý materiál pro svou schopnost mikrookysličování tekutiny, i pro možný vliv složení materiálu na redoxní jevy ve zrajícím nápoji. Při výrobě takových nádrží lze ovlivnit výši propustnosti pro plyny jen velmi omezeně, s výjimkou volby tloušťky stěn. Žula by mohla mít určitou schopnost snižovat prostupnost kyslíku, což by mohlo ovlivnit redoxní stav uvnitř nádoby, pro ověření tohoto předpokladu je však zapotřebí dalšího výzkumu (Nevares & Del Alamo-Sanza 2021).

### 3.9.3 Beton

V posledních letech se stále častěji setkáváme s jinými než tradičními tvary nádob na zrání, a to zejména s těmi ve tvaru vejce, nejčastěji z betonu (viz Obrázek 6). Inspirací ke konstrukci takovýchto nádob byly starověké amfory i gruzínské „kvevri“ (Burg & Zemánek 2022a). To jsou jílové nádoby primárně používané pro výrobu vína. Skladují se v podzemním sklepech a tekutinu dobře chrání před teplotními výkyvy (Khafizova 2016). Výhodou vejčitého tvaru je, že během fermentace uvolněné teplo cirkuluje zpět dolů nejefektivněji z ostatních tvarů. Navíc má beton dobrou schopnost tepelné izolace, díky které často odpadá potřeba teplotu regulovat (Burg & Zemánek 2022a). Udržuje ji tedy stálejší a procesy ohřívání/ochlazování vína při kvašení nebo zrání jsou tak pomalejší a přirozenější než například v nerezovém tanku (Syka 2019).



Obrázek 6. Betonové vinařské tanky vejčitého tvaru vedle klasických sudů

(Zdroj: Babicová & Vencílková 2021)

Betonová směs se připravuje z přírodních materiálů – písku (popřípadě šterku), cementu a vody. Materiál se odlévá do formy, vnější stěny jsou obroušeny a vnitřní se ošetří roztokem vinné kyseliny, která zabrání korozi nebo reakci povrchu s vínem, případně kvasicím moštem (Burg & Zemánek 2022a). Vytvoří se tak vrstva vinanu vápenatého, možností jsou

ale i chemicky inertní nátěry, jako jsou epoxidové pryskyřice. Nicméně vzhledem k obtížnému čištění nádob s vrstvou vinanu nebo uvolňováním potenciálně škodlivých sloučenin z těchto pryskyřic někteří vinaři nyní od úprav povrchu upouští, stejně jako u hliněných amfor (Gil i Cortiella et al. 2021). Je známo, že beton a jíl mohou interagovat s kyselými roztoky (např. šťávou hroznů s pH 3,4) a v důsledku toho může docházet k obohacení obsažené tekutiny anorganickými složkami z materiálu nádoby (Gil i Cortiella et al. 2020). Zkušenosti tedy naznačují, že tyto nádrže jsou méně vhodné pro vína s nižším pH, kvůli riziku koroze betonu (Burg & Zemánek 2022a), přičemž rozsah tohoto jevu záleží na mineralogickém složení nádob (Maioli et al. 2022).

Beton je porézní materiál umožňující mikrooxidaci. Tím je umožněn rozvoj komplexní chuti, podpoření tělnatosti bílých vín a u červených stabilizace barviv a zjemnění tříslovinných tónů (Burg & Zemánek 2022a). Někteří vinaři vyzdvihují, že víno nepřejímá terciární aromata ze dřeva, materiál nesesychá ani neplesniví, na druhou stranu je ale náročný z hlediska sanitace (Hloušek 2016). Díky betonu si víno uchová ovocitost a strukturu bez redukčních vlastností nerezové oceli nebo dubového aroma dřeva. Tento materiál tedy kombinuje nejlepších vlastností klasického dubového dřeva a nerez (Babicová & Venclíková 2021).

Při použití alternativních nádob z nerezové oceli, betonu, polyethylenu a nádob hliněných bylo pozorováno rozdílné chemické složení zkoušeného vína. Vzorky stařené v betonu vykazovaly nejvyšší obsah ethylesterů skořicové kyseliny a nejnižší obsah esteru kyseliny vinné. Také vykazovaly nejvíce sloučenin spojených s rostlinnými vůněmi. Dále byla pozorována větší koncentrace hořčíku (nárůst přibližně o 60 – 80 % ve srovnání s ostatními nádobami) a bylo popsáno, že přítomnost hořečnatých kationtů zvyšuje stabilitu vinných solí. Nádob z betonu použité pro tuto studii nebyly potaženy chemicky inertní látkou, vína tak byla v přímém kontaktu s materiálem, což mohlo do tekutiny uvolňovat anorganické prvky, jako je křemík, sodík, hořčík, železo a mangan. Zdá se, že obohacení vín těmito prvky a tvorba anorganických solí mohly změnit rovnováhu mezi formami kyseliny vinné a její soli. Byl také pozorován zajímavý nárůst obsahu železa (přibližně o 400 %). Tato koncentrace mohla přispět ke změnám chuti prostřednictvím katalytických oxidačních reakcí. Výsledky mohou být ovlivněny také tvarem a velikostí nádoby a poměrem jejího povrchu k objemu, který určuje míru uvolňování nových prvků do vína a míru jejich rozpouštění (Gil i Cortiella et al. 2021).

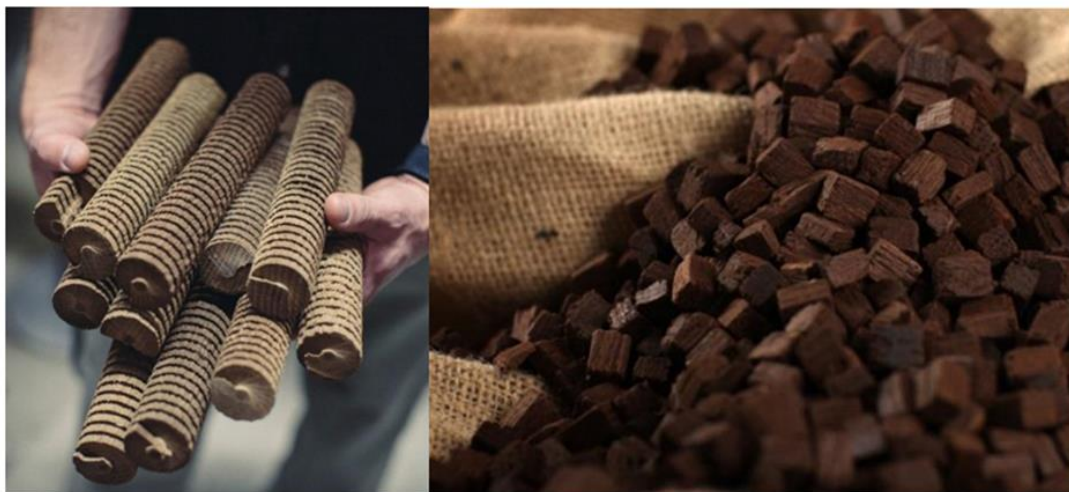
Maioli et al. (2022) srovnávali, jak různé materiály nádrží (nerezová ocel, epoxidem potažený beton, nepotažený beton, hliněná amfora, nové a použité dubové sudy) ovlivňují chemické složení a sensorický profil červeného vína během zrání. Po 6 měsících se vína zrající v nepotaženém a potaženém betonu od sebe výrazně lišila v intenzitě barvy. Obsah polymerních pigmentů a monomerních anthokyanů byl vyšší u vína z nepotaženého betonu ve srovnání s vínem z potaženého (a s vínem z nerezové a skleněné nádrže). Nižší hladina těchto látek by mohla být způsobena kontaktem vína se surovým betonem, což umožňuje vstup kyslíku do tekutiny, který by mohl být zodpovědný za polymerační reakce. V přítomnosti kyslíku se dále ve víně mohou prvky jako železo podílet na katalytické přeměně peroxidu vodíku na hydroxylový radikál. Tato reakce může vytvářet mnoho oxidačních produktů (např. ethanal), které mohou dále vytvářet vazby mezi tříslovinami nebo

anthokyan. Ty se následně mohou začlenit do větších fenolových struktur, což vede k žádoucí stabilizaci barvy. Studie také zdůrazňuje, že ke stejné stabilizaci došlo i v případě hliněných amfor, podobně jako v nových dubových sudech. Pro dosažení barevné stálosti červeného vína by tedy materiály, jako nepotažený beton nebo hliněné amfory, mohly být dobrou alternativou ke dřevu, pokud je třeba zachovat odrůdový charakter, aniž by byl ovlivněn těžkými sloučeninami typickými pro ožehnuté dubové dřevo (Maioli et al. 2022).

Kromě pórovitosti a pozitivního vlivu na organoleptické vlastnosti vína je další výhodou betonových nádrží dlouhá životnost a menší nároky na pravidelnou údržbu oproti klasickému dřevěnému sudu. Má hladký a souvislý vnitřní povrch. Zjevnou nevýhodou je na druhé straně vysoká hmotnost (nádoby o objemu 600 l váží přibližně 1,2 t). S tím jsou spojeny nároky na využití vhodné techniky při přepravě a manipulaci. Problematické je i čištění těchto nádob. Po použití by se neměly sanitovat agresivně, tzn. mechanicky nebo vysokotlakým proudem vody, povrch by se totiž mohl znehodnotit a zdrsnet, což by umožňovalo ulpívání nečistot nebo mikroorganismů. Vhodná není ani horká voda/pára, protože velká změna teploty může způsobit tepelnou roztažnost ocelových výtuzí materiálu, což by vedlo k popraskání betonu. V poslední řadě je nevýhodou také vysoká pořizovací cena, nádoba o objemu 600 – 2000 l může stát 80 – 180 tisíc korun (Burg & Zemánek 2022a).

### 3.10 Dřevěné fragmenty

Tradiční zrání v dřevěných sudech je přínosné hlavně ve dvou směrech, a to v přirozeném mikrookysličování a extrakci sensoricky příznivých látek. Je ale současně finančně i technicky náročné, například kvůli potřebnému prostoru, dlouhé době skladování a prevenci před kontaminací nežádoucími mikroorganismy (jako je *Brettanomyces*), které se v této biologické matici mohou díky přirozené pórovitosti usadit. Navíc taková opatření nemusí být vždy účinná, což vytváří nutnost pozdějšího ošetření nápoje. Existují však i rychlejší a levnější alternativy obohacení nápoje charakteristickými sloučeninami klasických sudů, a to štěpky (nebo také chipsy). Jsou to fragmenty dřeva různé morfologie (například hobliny, latě, kostky), jak lze vidět na Obrázku 7, a míry opečení (Lisanti et al. 2021). Jejich macerací v nápoji je dosaženo charakteristické dřevoviny, ovšem jen za uměle vytvořeného okysličování (tzn. zejména u neporézních materiálů zracích nádob) (Michlovský & Khafizova 2017b).



Obrázek 7. Dřevěné fragmenty různých tvarů a opálení (Zdroj: Johnson 2017)

Používají se v přirozeném stavu, tedy nesmějí být pozměněny chemicky, enzymaticky ani fyzikálně (tzn. nesmí být obohaceny o aromatizační látky nebo látky, které by zvýšily schopnost extrahovat fenolické sloučeniny). Jediný možný zásah je tepelná úprava při různých teplotách, nikdy však fragmenty nesmí začít hořet ani být zuhelnatělé nebo drobivé. Jelikož ovlivňují produkt určený k lidské spotřebě, nesmějí také uvolňovat látky v koncentracích, které jsou pro zdraví škodlivé (Balík 2021).

Na základě evropského nařízení [(ES) č. 934/2019] musí dřevo chipsů pocházet výhradně z rodu *Quercus* (Balík 2021; Lisanti et al. 2021; Jordão & Cosme 2022) a jejich velikost by měla být větší než 2 mm. Fragmenty o menších rozměrech se označují jako třísky či prach a představují hojný vedlejší produkt výroby sudů. Výhodou používání fragmentů oproti tradičním sudům je mimo jiné to, že lze kontrolovat jejich množství přidávané při staření, a tím i lépe kontrolovat rozměr dubové příchuti. Chipsy se mohou přidat i vyjmout v libovolné fázi vývoje nápoje, což opět umožňuje lepší kontrolu nad jeho vznikajícím sensorickým profilem (Lisanti et al. 2021).

Organoleptické vlastnosti získané pomocí dřevěných kousků jsou vždy jiné oproti těm z tradičního zrání v sudu. Jsou méně jemné, komplexní i trvanlivé, extrakce těkavých a fenolických látek je nicméně rychlejší a intenzivnější díky větší kontaktní ploše dřeva a tekutiny, než jakou poskytují sudy (Michlovský & Khafizova 2017b). Čím menší je tedy velikost chipsu, tím se uvolňuje více sloučenin reagujících s monomerními anthokyany hroznů a tím rychleji vznikají nové a stabilnější pigmenty. Nedávná studie ukázala, že velikost štěpků určuje fenolické složení vín během zrání bez ohledu na způsob jejich sušení nebo opečení (Lisanti et al. 2021). Doba kontaktu kromě velikosti fragmentů závisí i na druhu dřeva, dávce, výrobním postupu a požadovaném sensorickém profilu vína nebo destilátu. U vína je optimální doba použití chipsů dva měsíce, přičemž obecně nejlepšího sensorického hodnocení dosahují již při krátké době zrání, zatímco při běžném zrání v sudech se vína s časem zlepšují. Použití dřevěných fragmentů je tedy vhodné pro staření červených vín a vín určených ke krátkému zrání (Rubio-Bretón et al. 2018). Obecně pražené chipsy poskytují intenzivnější účinky než ty tepelně neošetřené, které působí svěžeji a nenápadněji (Michlovský & Khafizova 2017b).

Pokud jde o extraktivní látky ve víně zrajícím se štěpky, byly zaznamenány vyšší koncentrace kyselin p-kumarové, kávové a ferulové než ve vínech ze sudů (Laqui-Estaña

et al. 2019). Jiné studie dodávají, že s použitím dubových štěpků měla vína vyšší koncentrace dubových laktonů, furanových sloučenin (Jordão & Cosme 2022) a benzenových aldehydů (vanilin a syringaldehyd), které vznikají při tepelném rozkladu ligninu, než vína ze sudu. S dobou zrání se ale v sudech koncentrace dubových laktonů zvyšovala více než při použití chipsů (Rubio-Bretón et al. 2018).

Potenciální výhodou při staření vína s dřevěnými fragmenty by mohlo být využití alternativních dřevin, jako jsou kaštan, akát, moruše nebo třešeň, čímž by se mohl snížit environmentální dopad masivního používání dubového dřeva. Také by se tak v konkrétních případech mohlo dosáhnout lepšího souladu s vlastnostmi nápoje a jeho odlišného sensorického profilu. Zajímavé se zdá i využití dřevěných prášků, které by představovaly rychlé posílení stability barvy, aniž by vínu propůjčily silný dřevitý charakter. Navíc by se tak mohla zvýšit udržitelnost výroby vyzravaných nápojů, což by bylo výhodou i pro bednářny, které by zhodnotily své výrobní zbytky (Lisanti et al. 2021).

## 4 Závěr

Dubové sudy jsou nejčastějším typem nádoby na zrání, protože disponují mnoha pozitivními vlastnostmi, jako jsou dostatečná tvrdost a schopnost extrahovat do stařeného nápoje látky se žádoucím dopadem na jeho organoleptické vlastnosti. Složení a množství uvolňovaných látek je ovlivněno mnoha faktory, zejména však bednářským zpracováním, konkrétně fází toastingu, při němž vznikají klíčové aromatické složky vín a destilátů, jako jsou whisky laktony či vanilin. Další výhodou klasických sudů je přiměřená pórovitost, díky které uvnitř nádoby vzniká vhodné prostředí pro průběh četných reakcí vedoucích ke zlepšení kvality produktu. Dřevěné sudy do svých stěn také dokáží absorbovat část nápoje, což může být později využito k obohacení nadcházejícího nápoje o zajímavé chuťové tóny. Takový postup se využívá například u whisky, kde se hovoří o tzv. finishingu. Na druhou stranu jsou dřevěné sudy náročné na prostor, finanční prostředky i údržbu, jelikož coby biologické matrice mohou podléhat mikrobiálním kontaminacím.

Při porovnání vlastností ostatních typů dřevin bylo zjištěno, že zajímavou alternativou pro výrobu sudů je akátové dřevo, které je cenově srovnatelné a oproti dubovému dřevu poskytuje výraznější a jemnější chuť. Obdobně lze využít i jasanové dřevo, které však obsahuje menší množství některých sensoricky žádoucích látek. Kaštanové a třešňové dřevo lze vzhledem k jejich vysoké pórovitosti použít pouze pro krátkodobější zrání. Dřevo morušovníku obsahuje nejméně těkavých látek ve srovnání s ostatními zde popsányými dřevinami a vzhledem k negativnímu vlivu na obsah těkavých látek ve vínu stařeném morušovém sudu jej nelze považovat za ideální alternativu dubového dřeva. Na druhou stranu toto dřevo vykazuje vyšší koncentrace resveratrolu, který bývá spojován s francouzským paradoxem.

Betonové, keramické a pravděpodobně i žulové nádoby umožňují v určité míře žádoucí oxidaci nápojů a jsou z tohoto hlediska vhodné pro jejich zrání. Absenci dřevěného aroma, která se může negativně projevit na sensorickém hodnocení, lze do určité míry předejít přidáním dřevěných fragmentů do zracích nádob.

Zajímavě se jeví i využití dřevěných prášků, které by mohly poskytovat ještě rychlejší dosažení stabilní barvy nápoje a zefektivnění výroby zhodnocením vedlejšího produktu při výrobě sudů. Zdá se však, že takto malé částice nemohou být při zrání nápojů přidávány, nicméně do budoucna představují lukrativní komoditu (Lisanti et al. 2021).

Nabídka materiálů určených ke zrání je tedy široká a různorodá. Alternativní nádoby k tradičním dubovým sudům jsou využitelné a také využívány ke zrání určitých alkoholických nápojů, nicméně komplexní potenciál dubového sudu nelze plně nahradit. Vyrávaných druhů nápojů je taktéž celé spektrum a na různé materiály nádrží reagují různě. Nelze tedy jednoduše označit jeden materiál za obecně nejvhodnější pro účely zrání alkoholických nápojů. Vždy je třeba hledat co nejlepší soulad mezi charakterem vína či destilátu a nádobou. Špatně zvolená kombinace by mohla znehodnotit jinak sensoricky kvalitní a unikátní produkt.

I s ohledem na výše uvedené informace nezbyvá než uzavřít tuto práci poukazem na staré gaelské přísloví „Uisge-beatha? An-còmhnaidh...“, což lze volně přeložit jako „Whisky? Vždycky...“.

## 5 Literatura

1. Alamo-Sanza M, Nevares I, Mayr T, Baro JA, Martínez-Martínez V, Ehgartner J. 2016. Analysis of the role of wood anatomy on oxygen diffusivity in barrel staves using luminescent imaging. *Sensors and Actuators B: Chemical* **237**: 1035 – 1040.
2. Albrecht M. 2017. How a wooden barrel is made. *Barrels Direct*. Available from <https://www.barreldirect.com/the-barrel-blog/how-a-wooden-barrel-is-made/> (accessed April 2023).
3. Babicová M, Venclíková K. 2021. Odhalte tajemství betonových tanků. *Vinařský ráj*. Available from <https://www.vinarskyraj.cz/blog/doba-betonova> (accessed April 2023).
4. Balík J. 2021. Přídavné a pomocné látkové složky použitelné při výrobě vín. *Vinařský obzor* **114**: 439 – 442.
5. Basalekou M, Kyraleou M, Pappas Ch, Tarantilis P, Kotseridis Y, Kallithraka S. 2019. Proanthocyanidin content as an astringency estimation tool and maturation index in red and white winemaking technology. *Food Chemistry* **299**: 1.
6. Burg P, Zemánek P. 2011. Enologická novinka v oblasti užití sudů ve vinařství. *Vinařský obzor* **104**: 254.
7. Burg P, Zemánek P. 2022a. Moderní vinařské nádoby vejčitých tvarů. *Vinařský obzor* **115**: 86 – 87.
8. Burg P, Zemánek P. 2022b. Technické prostředky pro uložení a manipulaci s dřevěnými sudy. *Vinařský obzor* **115**: 134 – 136.
9. Caparoso R. 2021. Oak barrels, part 4 — Step by step visual of how barrels are coopered. *Lodiwine*. Available from: <https://www.lodiwine.com/blog/oak-barrels--part-4---step-by-step-visual-of-how-barrels-are-coopered> (accessed April 2023).
10. Carpena M, Pereira AG, Prieto MA, Simal-Gandara J. 2020. Wine Aging Technology: Fundamental Role of Wood Barrels. *Foods* **9**: 2 – 25.
11. Fernandes TA, Antunes AMM, Caldeira I, Anjos O, de Freitas V, Fargeton L, Boissier B, Catarino S, Canas S. 2022. Identification of gallotannins and ellagitannins in aged wine spirits: A new perspective using alternative ageing technology and high-resolution mass spectrometry. *Food Chemistry* **382**: 6.
12. Furdíková K. 2020. Faktory ovlivňující farbu vína. *Vinařský obzor* **113**: 372.
13. Gavlík P. 2021. Výroba americké whiskey. *Poznej Whisky*. Available from [https://poznejwhisky.cz/americka\\_whiskey/vyroba-americke-whiskey/](https://poznejwhisky.cz/americka_whiskey/vyroba-americke-whiskey/) (accessed April 2023).

14. Gil i Cortiella M, Úbeda C, Covarrubias JI, Laurie VF, Peña-Neira Á. 2021. Chemical and Physical Implications of the Use of Alternative Vessels to Oak Barrels during the Production of White Wines. *Molecules* (33494502) DOI: 10.3390/molecules26030554.
15. Gil i Cortiella M, Úbeda C, Covarrubias JI, Peña-Neira Á. 2020. Chemical, physical, and sensory attributes of Sauvignon blanc wine fermented in different kinds of vessels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **66**: 5 – 7.
16. Goldhawke B. 2020. 5 Ways To Reduce Wine Oxidation. *Barrelwise*. Available from <https://www.barrelwise.ca/blog/5-ways-to-reduce-wine-oxidation> (accessed April 2023).
17. Goldhawke B. 2021. How To Limit Disulfides And Other Reductive Wine Faults During Wine Aging: Tips And Tricks. *Barrelwise*. Available from <https://www.barrelwise.ca/blog/how-to-limit-disulfides-and-other-reductive-wine-faults-during-wine-aging-tips-and-tricks> (accessed April 2023).
18. Gombau J et al. 2022. Comparative study of volatile substances and ellagitannins released into wine by *Quercus pyrenaica*, *Quercus petraea* and *Quercus alba* barrels. *OENO One* **56**: 244 – 245.
19. González-Centeno MR, Chira K, Teissedre PL. 2016. Ellagitannin content, volatile composition and sensory profile of wines from different countries matured in oak barrels subjected to different toasting methods. *Food Chemistry* (27211676) DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.04.139.
20. Goullet A, Hanaei F, Vallet N, Nonier MF, Vivas Na, Vivas Ni, Picard M. 2023. A sensory characterization of some N-heterocycles in model spirit matrix: Influence of ethanol and several chemical features on aroma perception. *Flavour and Fragrance Journal* **38**: 109 – 117.
21. Guerrini L, Maioli F, Picchi M, Zanoni B, Parenti A, Canuti V. 2022. Kinetic modeling of a Sangiovese wine's chemical and physical parameters during one-year aging in different tank materials. *European Food Research and Technology* **248**: 1525 – 1538.
22. Hloušek J. 2016. Renaissance betonu ve vinařství. *Vinařský obzor* **109**: 244.
23. Chalyan T, Magnus I, Konstantaki M, Pissadakis S, Diamantakis Z, Thienpont H, Ottevaere H. 2022. Benchmarking Spectroscopic Techniques Combined with Machine Learning to Study Oak Barrels for Wine Ageing. *Biosensors* **12**: 1.
24. Chira K, Teissedre PL. 2015. Chemical and sensory evaluation of wine matured in oak barrel: effect of oak species involved and toasting process. *European Food Research and Technology* **240**: 534.



25. Johnson B. 2017. Oak Barrels and Oak Alternatives in Home Winemaking. HomeBrewIt. Available from: <https://www.homebrewit.com/blogs/news/oak-barrels-and-oak-alternatives-in-home-winemaking> (accessed April 2023).
26. Jordão AM, Cosme F. 2022. The Application of Wood Species in Enology: Chemical Wood Composition and Effect on Wine Quality. *Applied Sciences* **12**: 1 – 17.
27. Junqua R, Zeng L, Pons A. 2021. Oxygen gas transfer through oak barrels: a macroscopic approach. *OENO One* **55**: 53 – 62.
28. Kettmann M. 2017. How to Compete in the Barrel Market. Wine enthusiast magazine. Available from: <https://www.winemag.com/2017/08/25/how-to-compete-in-the-barrel-market/> (accessed April 2023).
29. Khafizova A. 2016. „Alternativní“ nádoby na víno. *Vinařský obzor* **109**: 241 – 242.
30. Kopička O. 2013. Nový pohled na barvu vína. *Vinařský obzor* **106**: 30 – 31.
31. Kumšta M. 2016. Řešení problémů s polyfenoly v bílých a růžových vínech. *Vinařský obzor* **109**: 368.
32. Laqui-Estaña J, López-Solís R, Peña-Neira Á, Medel-Marabolí M, Obrique-Slier E. 2019. Wines in contact with oak wood: the impact of the variety (Carménère and Cabernet Sauvignon), format (barrels, chips and staves), and aging time on the phenolic composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* (29896885) DOI: 10.1002/jsfa.9205.
33. Lisanti MT, Capuano R, Moio L, Gambuti A. 2021. Wood powders of different botanical origin as an alternative to barrel aging for red wine. *European Food Research and Technology* **247**: 2309 – 2318.
34. Ma T, Wang J, Wang H, Zhao Q, Zhang F, Ge Q, Li C, Gamboa GG, Fang Y, Sun X. 2022. Wine aging and artificial simulated wine aging: Technologies, applications, challenges, and perspectives. *Food Research International* (35227475) DOI: 10.1016/j.foodres.2022.110953.
35. Maioli F, Picchi M, Guerrini L, Parenti A, Domizio P, Andrenelli L, Zanoni B, Canuti V. 2022. Monitoring of Sangiovese Red Wine Chemical and Sensory Parameters along One-Year Aging in Different Tank Materials and Glass Bottle. *ACS Food Science & Technology* **2**: 221 – 239.
36. Martínez-Gil AM, Del Alamo-Sanza M, Del Barrio-Galán R, Nevares I. 2022a. Alternative Woods in Oenology: Volatile Compounds Characterisation of Woods with Respect to Traditional Oak and Effect on Aroma in Wine, a Review. *Applied Sciences* **12**: 2 – 26.

37. Martínez-Gil AM, Del Alamo-Sanza M, Nevares I. 2022b. Evolution of red wine in oak barrels with different oxygen transmission rates. Phenolic compounds and colour. *LWT* **158**: 1 – 11.
38. Martínez-Gil AM, Del Alamo-Sanza M, Sánchez-Gómez R, Nevares I. 2018. Different Woods in Cooperage for Oenology: A Review. *Beverages* **4**: 2 – 16.
39. Michlovský M, Khafizova A. 2016a. Příprava suchých bílých vín v barikových sudech. *Vinařský obzor* **109**: 558-561.
40. Michlovský M, Khafizova A. 2016b. Vliv sudu na vývoj červeného vína. *Vinařský obzor* **109**: 601 – 603.
41. Michlovský M, Khafizova A. 2017a. Odrůdová aromata červených vín. *Vinařský obzor* **110**: 139.
42. Michlovský M, Khafizova A. 2017b. Přizpůsobení typu dřeva různým vínům. *Vinařský obzor* **110**: 29 – 31.
43. National Center for Biotechnology Information. 2005. PubChem Compound Summary for CID 62900, Whiskey lactone. Available from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Whiskey-lactone> (Accessed April 2023).
44. Nearonov A. 2019. Гэри Хаггарт — управляющий винокурней Lindores Abbey. *WhiskyTalk*. Available from [http://whiskytalk.ru/nearonov\\_english/peated-whisky-how-do-ppm-talk-to-us/](http://whiskytalk.ru/nearonov_english/peated-whisky-how-do-ppm-talk-to-us/) (accessed April 2023).
45. Nevares I, Del Alamo-Sanza M. 2021. Characterization of the Oxygen Transmission Rate of New-Ancient Natural Materials for Wine Maturation Containers. *Foods* (33440820) DOI: 10.3390/foods10010140.
46. Picard M, Nonier MF, Vivas N, Vivas N. 2021. The dynamic of roasted aroma compounds release from oak wood: investigation of the heating barrel process and some spirit maturation parameters. *Wood Science and Technology* **55**: 1834.
47. PoznejWhisky. 2019. Výroba sladové whisky pro začátečníky. *Poznej Whisky*. Available from [https://poznejwhisky.cz/svet\\_whisky/vyroba-whisky/](https://poznejwhisky.cz/svet_whisky/vyroba-whisky/) (accessed April 2023).
48. PoznejWhisky. 2020. O sudech a zrání whisky. *Poznej Whisky*. Available from [https://poznejwhisky.cz/svet\\_whisky/o-sudech-a-zrani-whisky/](https://poznejwhisky.cz/svet_whisky/o-sudech-a-zrani-whisky/) (accessed April 2023).
49. Prat-García S, Nevares I, Martínez-Martínez V, Del Alamo-Sanza M. 2020a. Customized oxygenation barrels as a new strategy for controlled wine aging. *Food Research International* (32247479) DOI: 10.1016/j.foodres.2020.108982.

50. Prat-García S, Oliveira J, Del Alamo-Sanza M, de Freitas V, Nevares I, Mateus N. 2020b. Characterization of Anthocyanins and Anthocyanin-Derivatives in Red Wines during Ageing in Custom Oxygenation Oak Wood Barrels. *Molecules* (33375614) DOI: 10.3390/molecules26010064.
51. Průšová B, Kulhánková M, Baroň M. 2022. Kyslík a víno – fermentace a mikrooxidace. *Vinařský obzor* **115**: 243 – 246.
52. Roussey C, Colin J, Teissier du Cros R, Casalinho J, Perré P. 2021. In-situ monitoring of wine volume, barrel mass, ullage pressure and dissolved oxygen for a better understanding of wine-barrel-cellar interactions. *Journal of Food Engineering* **291**: 2 – 7.
53. Roussey C, Perré P, Casalinho J, Colin J. 2022. Inverse analysis of oxygen diffusivity in oak wood using the back-face method: application to cooperage. *Wood Science and Technology* **56**: 219 – 235.
54. Rubio-Bretón P, Garde-Cerdán T, Martínez J. 2018. Use of Oak Fragments during the Aging of Red Wines. Effect on the Phenolic, Aromatic, and Sensory Composition of Wines as a Function of the Contact Time with the Wood. *Beverages* **4**: 2 – 17.
55. Sánchez-Gómez R, Del Alamo-Sanza M, Nevares I. 2020. Volatile composition of oak wood from different customised oxygenation wine barrels: Effect on red wine. *Food Chemistry* (32502743) DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127181.
56. Stávek J, Tkáčiková B. 2011. Hořké, či trpké zdá se?. *Vinařský obzor* **104**: 144 – 145.
57. Stávek R. 2010. Valašský barrique? Zajed'te si do Vlachovic. *Vinařský obzor* **103**: 174 – 175.
58. Syka R. 2019. Víno může zrát i v betonu. Doka. Available from [https://www.doka.com/cz/news/news/CZ\\_Lahofer\\_rozhovor](https://www.doka.com/cz/news/news/CZ_Lahofer_rozhovor) (accessed April 2023).
59. Traoré M, Kaal J, Martínez Cortizas A. 2023. Variation of wood color and chemical composition in the stem cross-section of oak (*Quercus* spp.) trees, with special attention to the sapwood-heartwood transition zone. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (36137500) DOI: 10.1016/j.saa.2022.121893.
60. Tsoumis GT. 2023. wood plant tissue. *Encyclopedia Britannica*. Available from <https://www.britannica.com/science/wood-plant-tissue> (accessed April 2023).
61. Vivas N, Vivas de Gaulejac N, Nonier MF, Picard M. 2019. Sélection des bois chêne de tonnellerie sur le critère phénotypique du grain: signification, méthodologie et conséquence pour l'élevage des vins et des spiritueux. *Revue Forestière Française* **71**: 154 – 168.

62. WhiskyMade. 2016. What's so great about Kentucky bourbon?. Available from: <https://whiskymade.com/2016/11/18/whats-great-kentucky-bourbon/> (accessed April 2023).
63. Zhang B, Cai J, Duan CQ, Reeves MJ, He F. 2015. A review of polyphenolics in oak woods. *International Journal of Molecular Sciences* (25826529) DOI: 10.3390/ijms16046978.