

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

Degradace dřeva v podmínkách zemědělské výroby

Bakalářská práce

Autor práce: Libor Kolovrátník

Vedoucí práce: Ing. Kristýna Šimůnková, Ph.D.

2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Degradace dřeva v podmínkách zemědělské výroby vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 5.dubna 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí práce Ing. Kristýně Šimůnkové Ph.D. za odborné rady, konzultace a velkou trpělivost, Ing. Tereze Jurczykové, Ph.D. za odbornou konzultaci, Ing. Cyrilu Neumannovi, Ph.D. za odbornou konzultaci, Ing. Tomáši Holečkovi za pomoc při přípravě vzorků a při mechanických zkouškách, doc. Ing. Milošovi Pánkovi, Ph.D. in memoriam za rady a konzultace v počátku práce.

Degradace dřeva v podmínkách zemědělské výroby

Souhrn, abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na degradaci dřevin v podmínkách zemědělské výroby. Bližší zaměření je pak na oblast živočišné výroby z důvodu obecně větší degradační zátěže. Pro testování byly vybrány zástupci listnatých dřevin – trnovník akát, *Robinia pseudoacacia* L. a dub zimní, letní mix., *Quercus robur* L., *Q. petraea* Liebl. a zástupce jehličnatých dřevin sibiřský modřín, *Larix sibirica* L.. Vzorky byly rozděleny na dvě poloviny. První polovina vzorků byla formátována na rozměry 300x20x20 mm. 60 kusů od každé dřeviny a tyto vzorky budou použity pro pevnostní zkoušky. Druhá polovina vzorků byla formátována na rozměry 30x20x20 mm. 60 kusů od každé dřeviny a tyto vzorky budou použity pro zkoušky bobtnání. Celkový počet vzorků byl tedy 120 kusů vzorků od každé dřeviny. Vzorky byly dále rozděleny po dvaceti kusech do skupin z důvodu kondicionace v nálevkách. Od každé dřeviny bylo tedy připraveno 40 kusů vzorků referenčních, 40 kusů vzorků pro kondicionaci v nálevu koňské mrvy a 40 kusů vzorků pro kondicionaci v nálevu technické močoviny. Pro tento nálev z technické močoviny byl připraven roztok technické močoviny a destilované vody v hmotnostním poměru 1:1.

Vzorky byly ponořeny do nálevů podle skupin, vždy každá dřevina samostatně. Třetina vzorků pak byly referenční. Po vyndání vzorků z nálevů a klimatizace na vlhkost dřevin 12 procent bylo provedeno rozměrové a hmotnostní proměření. Následně u vzorků s rozměry 300x20x20 mm byly provedeny statické zkoušky tříbodovým ohybem kolmo na vlákna v tangenciálním směru, pro zjištění pevnosti a modulu pružnosti vzorků. Obě měření byla provedena při jednom zatížení vzorků, jednou zkouškou. Vzorky o rozměrech 30x20x20 mm byly vysušeny na vlhkost 0 procent. Vzorky byly po vyndání z klimatizační komory proměřeny rozměrově a hmotnostně a následně ponořeny do destilované vody na dvanáct dní. Po vyndání vzorků z destilované vody byly vzorky opět proměřeny rozměrově i hmotnostně. U všech vzorků byla dopočítána hustota. Vše bylo statisticky vyhodnoceno, porovnány výsledky a objektivně zhodnoceno. Ve výsledcích jsou patrné změny hodnot ve všech testovaných parametrech. Při aplikaci dřevin do staveb určených pro živočišnou výrobu je třeba s těmito změnami počítat. Také se projeví kladné stránky použití dřeva v těchto prostorech.

Klíčová slova: močovina, pevnost dřeva, živočišná výroba, zemědělství

Wood degradation in agricultural production

Summary

The bachelor's thesis is focused on the degradation of woody plants in the conditions of agricultural production. A closer focus is then on the area of animal production due to the generally greater degradation load. Representatives of deciduous trees were selected for testing – false acacia, *Robinia pseudoacacia* L. and winter oak, summer mix., *Quercus robur* L., *Q. petraea* Liebl. and representative of conifers Siberian larch, *Larix sibirica* L.. The samples were divided into two halves. The first half of the samples were formatted to dimensions of 300x20x20 mm. 60 pieces from each wood species and these samples will be used for strength tests. The other half of the samples were formatted to dimensions of 30x20x20 mm. 60 pieces from each wood species and these samples will be used for swelling tests. The total number of samples was therefore 120 pieces of samples from each tree species. The samples were further divided into groups of twenty pieces due to the conditioning in the pickles. Therefore, 40 pieces of reference samples, 40 pieces of samples for conditioning in an infusion of horse manure and 40 pieces of samples for conditioning in an infusion of technical urea were prepared from each tree. For this technical urea infusion, a solution of technical urea and distilled water in a 1:1 weight ratio was prepared.

The samples were immersed in the infusions according to groups, each tree species separately. A third of the samples were reference. After removing the samples from the infusions and conditioning them to a moisture content of 12 percent, dimensional and weight measurements were made. Subsequently, the samples with dimensions of 300x20x20 mm were subjected to static tests by three-point bending, to determine the strength and modulus of elasticity of the samples. Both measurements were performed at one sample load, one test. The 30x20x20 mm samples were dried to 0 percent moisture. After removing the samples from the air conditioning chamber, they were measured for size and weight and then immersed in distilled water for twelve days. After removing the samples from the distilled water, the samples were again measured for size and weight. Densities were calculated for all samples. Everything was statistically evaluated, the results compared and objectively evaluated. The results show changes in values in all tested parameters. These changes must be taken into account when applying wood species to buildings intended for animal production. The positive aspects of the use of wood in these spaces also became apparent.

Keywords: urea, wood strength, animal production, agriculture

Obsah

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | Úvod | 11 |
| 2 | Cíl práce | 12 |
| 3 | Literární přehled současného stavu řešené problematiky, řešerše | 13 |
| 3.1 | Historie a současnost, používané materiály | 13 |
| 3.2 | Testované druhy dřevin | 17 |
| 3.3 | Dřevo degradující činitelé v živočišné výrobě | 18 |
| 3.3.1 | Mechanické zatížení | 18 |
| 3.3.2 | Moč zvířat (v testech použita močovina) | 19 |
| 3.3.3 | Exkrementy zvířat (v testech koňská mrva) | 20 |
| 3.4 | Normy a vyhlášky | 21 |
| 4 | Metodika | 21 |
| 4.1 | Příprava vzorků | 21 |
| 4.1.1 | Stabilizace vlhkosti vzorků před vložením do nálevů | 22 |
| 4.1.2 | Kondicionace vzorků | 24 |
| 4.2 | Zkoušky vzorků | 26 |
| 4.2.1 | Klimatizace na 12 procent, pevnostní zkoušky | 26 |
| 4.2.2 | Bobtnání vzorků | 27 |
| 4.3 | Statistické výpočty | 28 |
| 5 | Výsledky | 28 |
| 5.1 | Vzorky před kondicionací | 28 |
| 5.1.1 | Klimatizace vzorků před vložením | 29 |
| 5.2 | Vzorky po kondicionaci | 31 |
| 5.2.1 | Zkoušky pevnosti a modulu pružnosti | 32 |
| 5.3 | Bobtnání vzorků | 34 |
| 5.3.1 | Hmotnostní změny při bobtnání vzorků | 34 |
| 5.3.2 | Rozměrové změny při bobtnání | 36 |
| 5.4 | Hustota vzorků | 38 |
| 6 | Diskuze | 40 |
| 6.1.1 | Degradace | 40 |
| 6.1.2 | Moč zvířat a roztok technické močoviny | 40 |
| 6.1.3 | Rozměrové změny při bobtnání | 41 |
| 6.1.4 | Reakce dřevin na degradační prostředí | 41 |
| 6.1.5 | Biodegradace | 41 |
| 6.2 | Porovnání s podobnou odbornou prací | 41 |
| 7 | Závěr | 43 |

| | | |
|------------|---------------------------------|-----------|
| 8 | Literatura | 44 |
| 8.1 | Normy | 46 |
| 9 | Samostatné přílohy | 47 |
| 9.1 | Příloha 1 | 47 |
| 9.2 | Příloha 2 | 48 |

Seznam použitých zkratek a symbolů

FLD – Fakulta lesnická a dřevařská Praha Suchdol

CZU – Česká zemědělská univerzita v Praze

mm – délkový rozměr, milimetr

°C – jednotka teploty, stupeň celsia

1:1 – poměr částí jedna ku jedné

% - procenta, podíl dané veličiny z celku

1 Úvod

Tato práce je původní vědecká práce experimentálního charakteru. Vznikla z důvodu klesajícího zájmu o používání dřeva v zemědělských prostorech.

Důvody poklesu používání dřeva v zemědělských prostorech bývají různé a opodstatnění je diskutabilní. Zároveň přetlaku nových materiálů na trhu se těžko odolává. Každá liška chválí svůj ohon a následné zkoušení odolnosti nových materiálů a jejich vyhodnocení v provozech pak trvají dlouhou dobu.

Důvodem pro nahrazení dřeva jinými materiály je domnělá menší trvanlivost dřeva, pórovitost dřeva a s tím související požadavky na hygienickou nezávadnost chovu, domnělá nesnadná dezinfekce a strach z okusu zvířat a následné píchnutí třísky a infekce, strach z napadení hlodavci, nebo i z nízké zápalné teploty dřeva. Dále pak strach z nedostatečné pevnosti dřeva.

Cílem této práce je zjistit vhodnost dřeva pro zemědělské prostory a zejména pak aplikaci ve stavbách pro živočišnou výrobu, tedy pro chov hospodářských zvířat. Pokud výsledky práce ukážou, že dřevo je vhodné k použití v tomto specifickém prostředí, pak by bylo dobré dřevo pro tyto prostory opět začít doporučovat a do těchto prostor aplikovat.

Práce by měla spíše vyzvednout kvality dřeva, případně upozornit na specifické chování dřeva v těchto podmínkách, než porovnávat dřevo s ostatními materiály. Pokud by se následně projektanti zemědělských budov rozhodli dřevo do těchto prostor začít více navrhopvat, zvýšilo by se tím využití dřeva v tomto odvětví.

Aby projektanti zemědělských budov mohli opět začít doporučovat dřevo do těchto prostor, potřebují vědět, jak dřevo odolává degradacím a popřípadě jak se dřevo v těchto podmínkách chová. Neméně důležitou podmínkou pro doporučení dřeva do zemědělských prostor jsou pevnostní charakteristiky za takto specifických podmínek.

Tato práce se sleduje vliv degračních činitelů na změnu pevnosti a modulu pružnosti dřeva a zároveň změny při bobtnání dřeva. V této práci je také sledována změna hustoty v jednotlivých fázích testu. Pro zjištění pevnosti a modulu pružnosti byla použita statická zkouška tříbodovým ohybem kolmo na vlákna v tangenciálním směru. Jako degrační činitelé byly zvoleny koňská mrva a roztok technické močoviny s destilovanou vodou v hmotnostním poměru 1:1 jako náhrada moči zvířat.

Bylo by záhodno, aby tato práce přispěla k používání dřeva v zemědělských prostorech ve větším množství a ujasnila chování dřeva v takto specifickém prostředí živočišné výroby.

2 Cíl práce

Cílem práce je vybrat vhodné druhy dřev, které by lépe odolávaly specifickým podmínkám chovu zvířat v zemědělské výrobě.

3 Literární přehled současného stavu řešené problematiky, rešerše

Zemědělství lze obecně rozdělit do dvou skupin. Rostlinná výroba a živočišná výroba, neboli chov zvířat. Použití dřeva v zemědělství má svou tradici. Dřevo je dobře dostupný materiál, levný a jednoduše opravitelný. Je to materiál s dobrým poměrem hmotnosti a pevnosti. Dřevo je také obnovitelná surovina.

3.1 Historie a současnost, používané materiály

Dřevo mělo historicky v zemědělství významnou roli. Používalo se ke stavbě stodol, chlévů, mlýnů, sýpek, sušáren ovoce a dalších různých hospodářských budov (obrázek č.1,2). Využití mělo také v ohradách pro dobytek. Křivanová, Štěpán (2001) říká, že zemědělské stavby mají pradávny původ a byly součástí již Slovy vytvářených dvorů. Dvory pak byly ohraničovány hospodářskými budovami. Od přístřešků, přes účelové prostory – maštale, chlévy, stodoly, kolny, sýpky, ale také například selské a obecní pazdery. Například vznik stodol spadá do konce středověku. První zmínka o stodolách ve Východních Čechách pochází z roku 1421 z Chotěboře. Původně byly stavby celodřevěné, později polozděné-pilířové a následně celozděné;.



Obr. 1, 2 historické dřevěné hospodářské stavby, skanzen Rožnov pod Radhoštěm, zdroj: autor práce, 2023

Co se týká trvanlivosti dřevěných zemědělských stavení, dá se konstatovat, že pokud je dřevěná stavba dobře udržovaná, pak má i dlouhou životnost. Při poškození lze jednoduše vyměnit poškozenou část a životnost stavby se tak prodlužuje. Toto tvrzení je zde doloženo fotografiemi různých dobře udržovaných hospodářských stavení (obrázek č.3-6). Příkladem může být například výměna trámů stropu ve staré stodole (obrázek č.4).



Obr. 3, 4 původní dřevěná stodola bez známek výraznějšího poškození, Vidonice, zdroj: autor práce, 2022



Obr. 5, 6 dobře udržované původní hospodářské budovy, vlevo Bukovina u Čisté, 2023, vpravo Bělá u Pečky, zdroj: autor práce, 2024

V současnosti dochází k odklonu od dřeva, jako tradičního materiálu a postupně je nahrazováno novějšími materiály, jako jsou cihly, beton, asfalt, pozinkovaná, nebo povrchově upravená ocel, materiály na bázi kaučuku, kompozitní materiály, desky na bázi cementu a podobně. Jako příklad je zde uveden objekt zděného kravína (obrázek č.7). Sklady steliva (obrázek č.8,9). A nebo objekt stáje se zásobníkem krmiva (obrázek č.10).



Obr. 7-8 vlevo objekt kravína, vpravo je sklad steliva, zdroj: autor práce 2023



Obr. 7-10 vlevo sklad steliva se zásobníky krmiva, vpravo stáj se zásobníkem krmiva, zdroj: autor práce, 2023

Ve vnitřních stájových technologiích je dřevo používáno také již v malém množství. Dřevo je stále používáno hlavně v koňských stájích na stěnách boxů (obrázek č.13). V průmyslové živočišné výrobě je dřevo z větší části vytlačeno a vyskytuje se pouze minimálně. Z moderních materiálů se používá hlavně ocel, pozinkovaná ocel, nebo s povrchovou úpravou (obrázek č.11,12). Na obrázcích je vidět dřevo pouze v dolní části.



Obr. 11, 12 propagační materiál firmy Metaxo – stájové technologie, pozinkovaná ocel, ocel, beton, zdroj: <https://www.metaxo.cz/produkty/skot/stajove-technologie/> , 2024

Na stěnách boxů se používá většinou ocel, pozinkovaná ocel, beton, cihly, plast a desky na bázi cementu. Fotografie z reálných provozů (obrázek č.13-15).



Obr. 13-15 stěny boxů v reálných provozech,

vlevo box pro koně – boční stěny ze dřeva v U-profilech a kovové konstrukci, propagační materiál firmy Metaxo – stájové technologie, zdroj:

<https://www.metaxo.cz/produkty/kone/vnitri-boxy/> , 2024,

uprostřed chov prasat, boční stěny z materiálu plast, areál firmy Moras Slepovice, Moravany, zdroj: <http://www.moras-as.cz/moras-as/7-FOTOGALERIE/25-2018> , 2018,

vpravo chov telat, boční stěny z pozinkované oceli, zdroj: <http://www.zepo-belohrad.cz/o-firme> , 2024

Na podlahách provozů pak převažují beton, plasty, asfalt, nebo neidentifikovatelné povlaky (obrázek č.16-17). Sýkora (2014) zmiňuje, že uličky mezi boxy u stájí a krmišť mají plnou, nebo roštovou podlahu, což ovlivňuje způsob čištění, dále ještě komentuje, že u stájí koní mají být podlahy, stěny a stropní podhledy dobře čistitelné a dezinfikovatelné, dlažba by neměla být příliš ostrá a tvrdá. Za nejlepší se vždy považovala dřevěná špalíková dlažba;



Obr. 16-17 podlahy v provozech živočišné výroby, vlevo drůbežárna firmy Moras Moravy, provoz Slepovice, materiál podlahy pravděpodobně beton, na něm pilinová podestýlka, na ní pak plastové pláty, vpravo vepřín firmy Moras Moravy, provoz Moravy, materiál podlahy plastové rošty, bočnice pozinkovaná ocel, zdroj: <http://www.moras-as.cz/moras-as/7-FOTOGALERIE/25-2018>, 2024

Opláštění budov je pak provedeno především dle potřeb zateplení a provzdušnění. Pro zateplené budovy jsou to kovem opláštěné PIR a PUR pěny, pro nezateplené budovy pak například betonové polotovary, nebo rolovací plachty (obrázek č.18-19). Sýkora (2014) ještě říká, že stáje musí být chráněny proti průvanu a pokud je otevřená boční strana, nebo rolovací plachta, musí směřovat po směru převládajících větrů;



Obr. 18-19 zemědělské objekty pro živočišnou výrobu, vlevo objekt firmy Moras Slepovice – chov kuřat a slepic, vpravo pak objekt s rolovací boční plachtou firmy ZEPO Bělohrad a.s., Lázně Bělohrad – chov krav, produkce mléka, zdroj: autor práce, 2024

V konstrukcích střech budov převažuje ocel. U podpěrných sloupů se pak používá hlavně beton a ocel s povrchovou úpravou (obrázek č.20-22). Sýkora (2014) ale dále tvrdí, že nejvhodnější jsou kombinované konstrukce, spojující výhody materiálů. Nosné konstrukce ve stájových prostorech by měli mít jednoduchý povrch bez výčnělků, kde by se mohli usazovat prachové a stébelnaté částice. V živočišné výrobě by se neměli používat viditelné příhradové systémy a doporučuje se spíše armované, lepené dřevěné krokve na podélných vaznicích, nebo i dřevěné krokrové soustavy s kleštinami;



Obr. 20-22 střešní konstrukce a podpěrné sloupy, vlevo a uprostřed areál firmy Moras Slepovice, Moravany, zdroj: <http://www.moras-as.cz/moras-as/7-FOTOGALERIE/> , vpravo areál firmy ZEPO Bělohrad a.s., Lázně Bělohrad, zdroj: <http://www.zepo-belohrad.cz/o-firme> , 2024

Příklady použití dřeva v konstrukcích zemědělských budov a zařízení (obrázek č.23-24).



Obr. 23-24 dřevo použité v provozech, vlevo obklad zásobníků krmiva, reklamní plakát firmy Kasper-Trutnov, zdroj: autor práce, 2021, vpravo areál firmy Moras Moravany, provoz Slepovice, zdroj: <http://www.moras-as.cz/moras-as/7-FOTOGALERIE/> , 2018.

3.2 Testované druhy dřevin

Pro testování odolnosti dřeva byly vybrány zástupci listnatých dřevin trnovník akát a dub zimní, letní mix. a jako zástupce jehličnatých dřevin sibiřský modřín.

Trnovník akát *Robinia pseudoacacia* L., Hsmap.bnhelp.cz (2024) tvrdí, že listnatá dřevina (*Decidua* L.), čeleď bobovité (Fabaceae L.), dorůstá výšky 10-25 metrů, významná medonosná, invazní dřevina;. Zeidler, Borůvka (2016) tvrdí, že je to jedna z nejtvrdějších a nejtěžších dřevin u nás. Má vysokou odolnost proti povětrnosti a biotickým činitelům. Dále pak, kruhovitě pórovaná dřevina se širokým žlutozeleným jádrem, běl velmi úzká, nažloutlá, dřevové paprsky patrné pouze na radiálním řezu. Obvyklá hustota dřeviny je $0,761 \text{ g/cm}^3$, obvyklá pevnost v ohybu kolmo na vlákna v tangenciálním směru bývá $150,2 \text{ MPa}$, modul pružnosti v ohybu v podélném směru obvykle bývá 13600 MPa . Bobtnání, přepočteno z hodnot sesychání bývá v podélném směru 0,1 procent, v radiálním směru 4,6 procent a v tangenciálním směru pak 7,4 procent;.

Dub zimní, letní mix. *Quercus robur* L., *Q. petraea* Liebl., Hsmap.bnhelp.cz (2024) tvrdí, že jsou to listnaté dřeviny, čeleď bukovité (Fabaceae L.), letní dorůstá výšky 20-35 metrů, zimní 15-30 metrů, jsou to jedny z našich nejrozšířenějších dřevin. Dále tvrdí, že se jedná o jádrovou dřevinu s kruhovitě pórovitou stavbou. Seskupení letních cév tvoří tzv. plaménce. Má mohutné

dřeňové paprsky, obsahuje větší množství tříslovin, ve vodě tmavne, patří k našim dřevům s nejvyšší odolností, špatně rozpoznatelný rozdíl letní, zimní. Obvyklá hustota dřeviny je $0,702 \text{ g/cm}^3$, pevnost v ohybu kolmo na vlákna v tangenciálním směru pak bývá $85,2 \text{ MPa}$ a modul pružnosti v ohybu v podélném směru zase obvykle 13000 MPa . Obvyklé bobtnání, přepočteno z hodnot sesychání je v podélném směru $0,7 \text{ procent}$, v radiálním směru $4,2 \text{ procent}$ a v tangenciálním směru $8,9 \text{ procent}$;

Sibiřský modřín *Larix sibirica* L., Hsmap.bnhelp.cz (2024) tvrdí, že se jedná o jehličnatou dřevinu, čeleď borovicové *Pinaceae* L., dorůstá výšky 20-30 (45) metrů, původ rostliny je Čína, Mongolsko a Východní Rusko, dřevo se využívá jako stavební materiál, na mosty, sloupy, nábytek, kůra obsahuje tanin nahosemenní *Gymnospermophytae* L.; Slávik, Bažant (2016) dále říká, že dřevina má vyšší obsah pryskyřice, je trvanlivá na vzduchu i pod vodou, středně trvanlivá v kontaktu se zemí. Dřevo je také pružné, dobře opracovatelné a štípatelné. Používá se pro stavebně-truhlářské výrobky, prvky zahradní architektury, rustikální nábytek, stavba lodí, konstrukční a dekorativní účely. Modřínová pryskyřice se využívá k léčení kožních nemocí;. M.T.A. s.r.o. (2024) zmiňuje, že odolnost hnilobě je střední až dobrá, běl je žlutobílá a jádro žlutohnědé, používá se na parkety, okna, schodiště, konstrukce, terasy. Obvyklá hustota dřeviny je $0,600 \text{ g/cm}^3$, obvyklá pevnost v ohybu kolmo na vlákna v tangenciálním směru bývá $99,0 \text{ MPa}$, modul pružnosti v ohybu v podélném směru obvykle bývá 13800 MPa . Obvyklé bobtnání, přepočteno z hodnot sesychání v podélném směru autor neuvádí, v radiálním směru $4,4 \text{ procent}$ a v tangenciálním směru pak $8,9 \text{ procent}$;

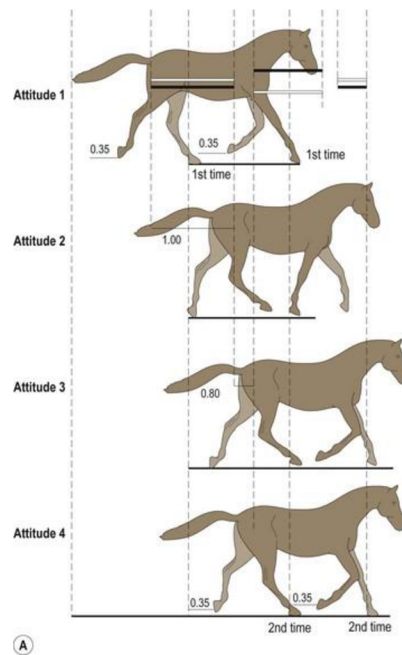
3.3 Dřevo degradující činitelé v živočišné výrobě

V živočišné výrobě jsou hlavní degradační složkou mechanické zatížení, moč zvířat, exkrementy zvířat, zbytky potravy a biočinitelé. Zbytky potravy se v tato práci neřeší.

3.3.1 Mechanické zatížení

Z mechanického hlediska u podlah stájí se jedná o dynamické zatížení dřeva vlivem došlapu zvířat. Zvířata většinu času tráví na polovině svých nohou (obrázek č.25). Při výpočtech dimenzování podlahy je tedy třeba počítat s dvojnásobným zatížením na plochu. U čtyřnohého zvířete na plochu 2 kopyt a u slepice na 1 pařát. U koní vzniká pak další komplikace, pokud koně používají podkovy. Podkov se vyrábí velké množství s různými tvary a tedy i různými styčnými plochami (obrázek č.26). Některé druhy podkov mohou mít na sobě navíc tzv. ozuby. Ty bývají v počtu 4 kusy na každé podkově a mohou mít každá průměr 10 mm i menší a jsou demontovatelné (obrázek č.27). Tím se opět styčná plocha koně zmenšuje a podlaha musí udržet o to větší namáhání. Při příchodu koně do stáje by měli být ozuby vždy demontovány. Pokud hospodář, nebo jezdec není schopen toto dodržet, na podlahu stáje musí být zvolen podstatně odolnější materiál, který toto zatížení vydrží. Toto je zásadní při dimenzování podlahy stáje.

U ostatních nosných konstrukcí se jedná o statické zatížení, kombinované do určité výšky i degradačními vlivy moči a exkrementů zvířat. S těmito vlivy je třeba počítat a dimenzovat tyto konstrukce s odpočtem ztráty pevnosti dřeva.



Obr. 25 koordinace chůze koně, zdroj: <https://veteriankey.com/gaits-and-interlimb-coordination/>, 2024



Obr. 26 druhy podkov koní, zdroj: <https://www.thevetexpert.com/20-common-types-of-horse-shoes-you-should-know-as-a-horse-owner/>, 2024



Obr. 27 ozuby na podkovy, zdroj: <https://www.podkovy.cz/ozuby-a-vidiove-hroty/>, 2024

3.3.2 Moč zvířat (v testech použita močovina)

Moč zvířat. Složení zvířecí moči je závislé od druhu zvířete. Chemické složení moči zvířat je tabulkově znázorněno v (příloze č.1, tabulka č.1).

Močovina, (*Urea* L.) je organická sloučenina, složená z anorganických prvků. Chemický vzorec je $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Sklenář (2007) tvrdí, že močovina tvoří bezbarvé hranolovité krystalky velmi snadno rozpustné ve vodě (1:1,2-1:1,5), glycerolu (1:2-1:2,5) a v 96% ethanolu (1:10);

Raab (1989) dále tvrdí, že se jedná o prakticky netoxickou látku, která se přirozeně vyskytuje v potu, moči, séru a v slzách. Průmyslově se používá hlavně v zemědělství jako hnojivo pro rostliny; dále Sklenář (2007) zmiňuje, že použití ve farmacii bývá pro výrobu léčiv k zevní dermatologické terapii individuálně připravovaných léčivých přípravků a v kosmetickém odvětví pro výrobu přípravků k zevnímu použití; Pouke, Dreeke (2005) tvrdí, a také Proksch (1994) dále tvrdí, že látka vykazuje účinky keroplastické, proteolytické, keratolytické, antipruginózní, antibakteriální a má také mírně anestetické účinky; Fadrhonicová (1999) a také i Wohrab (1992) ještě tvrdí, že močovina nevykazuje téměř žádné nežádoucí působení a nealergizuje;

Chemicalaid.com (2024) vysvětluje, že hmotnostní podíl prvků v močovíně je uhlík 20 procent, vodík 6,7 procent, dusík 46,6 procent a kyslík 26,6 procent;

„Pouke, Dreeke (2005), Proksch (1994) a současně také Wolf, Süverkrüp (2002) shodně tvrdí, že se jedná o látku relativně málo stabilní. Ve vodném roztoku se močovina pomalu rozkládá na kyanatan amonný a následně na amoniak a oxid uhličitý; Wolf, Süverkrüp (2002) ještě navazuje, že kyselé i alkalické prostředí tuto reakci ještě urychluje, stejně jako zvýšená teplota. Nárůst pH se projeví již při minimálním rozkladu močoviny, a toto zásadité pH katalyzuje její další rozklad. Optimální pH pro močovinu představuje hodnota 6,2; Sklenář (2007) ještě komentuje, že u původně vyhovujícího pH dochází, je-li zároveň obsažena i voda, k postupnému rozkladu močoviny a rozkladné produkty posouvají pH do alkalické oblasti, která podporuje její další rozklad;

Shaw et. Al. (1955) tvrdí, že ve vodném roztoku se rozkladem močoviny získá kyanát a amonný iont $(\text{NH}_2)_2\text{CO} \rightarrow \text{CNO}^- + \text{NH}_4^+$ a také se zdá, že eliminační mechanismus je operativní. Kyanátový iont dále snadno podléhá přeměně na CO_2 a amoniak;

Amoniak, *Ammoniacum* L.. Is.muni.cz (2024) tvrdí, že chemický vzorec je NH_3 . NH_4^+ je pak amonný iont. Ten se vyskytuje v přírodě převážně rozpuštěný ve vodě. Rostliny svými kořeny tento iont přijímají z půdy a slouží jim jako nepostradatelný zdroj dusíku a k tvorbě bílkovin; Britannica.com (2024) říká, že se jedná o bezbarvý, štiplavý plyn složený z dusíku a vodíku. Je to nejjednodušší stabilní sloučenina těchto prvků; Vebr, Vít (2024) ještě tvrdí, že se amoniak dobře rozpustí ve vodě a reaguje s kyselinami za vzniku amonné soli. Běžně se používá jako bělicí a čistící činidlo v průmyslu i v domácnostech. Působí fungicidně; Randall et. Al. (2001) také navíc tvrdí, amoniak je neobvyklá látka, protože je produkována zvířaty a zároveň je pro ně jedovatá. Zvýšené hladiny amoniaku v životním prostředí jsou toxické. Ve vodném roztoku má amoniak dva druhy, NH_3 a NH_4^+ . K této reakci dochází v souvislosti s pH okolního prostředí a vody, kolem hodnoty pH 9,5. Rovnováha obou druhů závisí na pH, teplotě, tlaku a síle iontu. Největší význam má pak toto pH. Kyselé prostředí zlepšuje a naopak zásadité prostředí ještě zhoršuje toxicitu amoniaku. Při pH 6,5 je biotoxicita amoniaku při hodnotě 3,48 mg/l a pokud stoupne hodnota pH okolního prostředí na 9,0, začne biotoxicita už při koncentraci amoniaku 0,25mg/l;

3.3.3 Exkrementy zvířat (v testech koňská mrva)

Exkrementy zvířat. Krawczyk et. Al. (2010) tvrdí, že ve skladovaném hnoji dochází k četným přeměnám sloučenin dusíku v řadě procesů, především amonifikací, ale i nitrifikace či denitrifikace. Tyto změny závisí na fyzikálních a chemických faktorech a jsou uskutečňovány

pomocí činnosti ureázy a na také mikroflórou přítomnou v exkrementech zvířat. Rychlá realizace termofilní fáze se současným poměrem C:N se nachází v rozmezí 40–50:1 a následuje pak vznik pomalu působících organických kombinací biogenních prvků;. Podrobné chemické složení hnoje je pak v (příloze č.1, tabulka č.1).

3.4 Normy a vyhlášky

Při navrhování staveb a příslušenství je třeba dodržovat normy. Sovjak, Jebavý (2014) upozorňuje, držet se technických požadavků na stavby zejména Vyhlášku č.268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů. Pro stavby v zemědělství pak Vyhlášku č.191/2002 Sb. o technických požadavcích na stavby pro zemědělství. Ale také dodržovat standardy pro ochranu zvířat, zejména pak Vyhlášku o minimálních standardech pro ochranu hospodářských zvířat č.208/2004 Sb.;

4 Metodika

Při zvolení správné metodiky prověření vzorků, bylo nahlíženo k výsledkové funkcionalitě a k možnosti říci na konci testů nějaké vhodné závěry pro použití dřevin v zemědělské a následně živočišné výrobě. Při všech zkouškách byla snaha o dodržení všech potřebných norem a nařízení.

4.1 Příprava vzorků

Hlavní důvod pro výběr výše zmíněných dřevin byla jejich obecně známá odolnost degradačním vlivům. Odolnost těchto dřevin je dána hlavně obsahem doprovodných složek dřeva. Důvodem proč sibiřský modřín a ne modřín opadavý jsou jeho menší roční přírůstky a tím i vyšší hustota a tedy i lepší pevnostní charakteristiky.

Obecně platí, že pokud se zvyšuje hustota dřeviny, zlepšuje se i odolnost mechanickému zatížení. Hustota tedy většinou dobře koreluje s mechanickými vlastnostmi. V této práci to ale vlivem degradací vzorků nebude pravidlem.

Nákup dřevin byl uskutečněn v běžné obchodní síti prodeje dřevo-materiálu. Dřeviny byly vybrány ideální bez vad. Snaha byla koupit vždy jeden větší kus a ten následně rozdělit na vzorky. Je to z důvodu, že vzorky z jedné části stromu mají podobnější strukturu a výsledky testů jsou pak objektivnější a lépe porovnatelné. Po nákupu byla provedena kontrola charakteristických znaků dřevin, aby nedošlo k otestování odlišné dřeviny.

Vzorky byly naformátovány a rozděleny do skupin. Vždy jeden řez dlouhé fošny a tři vzorky za sebou byly rozděleny do třech skupin dle kondicionace v nálevu. Toto bylo provedeno z důvodu pravidelnějšího rozložení hustoty ve všech nálevech a následně větší věrohodnosti výsledků. Vzorky byly formátovány vždy v počtu 20 kusů pro každou testovanou skupinu. Celkem tedy 60 kusů zkušebních vzorků každé dřeviny v rozměrech 300x20x20 milimetru a 60 kusů zkušebních vzorků každé dřeviny o rozměrech 30x20x20 milimetru. Přitom rozměry 300 a 30 milimetrů byly orientovány ve směru vláken, tedy v podélné ose stromu. U rozměrů 20 a 20 milimetrů byla snaha dodržet orientaci vláken v tangenciálním a radiálním směru vždy kolmém k základní rovině povrchové plochy.

Rozměr 300x20x20 milimetrů požaduje norma ČSN 49 0115 pro zjišťování meze pevnosti ve statickém ohybu. Stejně požadavky má i norma ČSN 49 0116 pro zjišťování modulu pružnosti. Pro zjišťování vlhkosti dřevin byla dále použita norma ČSN 49 0103. Tato norma určuje teplotu 103 ± 2 °C při sušení vzorků na 0 procent vlhkosti dřeviny a také vyžaduje vzorky o rozměrech $25 \pm 5 \times 20 \times 20$ milimetrů, nebo jiného rozměru s objemem vzorku 10 ± 2 cm³. Toto bylo také dodrženo. Pro zjišťování hustoty vzorků, pak norma ČSN 49 0108 požaduje rozměry zkušebních těles $25 \pm 5 \times 20 \times 20$ milimetru, ale jsou povoleny i rozměry jiné. Proto bylo dovoleno počítat hustoty dřevin u všech vzorků. Pro měření hustoty dřevin je dále třeba splnit podmínku minimálně 5 letokruhů na každém tělisku. Všechny požadavky byly splněny.

4.1.1 Stabilizace vlhkosti vzorků před vložením do nálevů

Před vložením vzorků do nálevů je nutná vlhkostní stabilizace dřeva. Proto byly všechny vzorky uloženy v místnosti se stabilní teplotou a vlhkostí na dobu 30 dní. Vzorky byly uloženy poblíž sebe, teplota a vlhkost v místnosti byly denně monitorovány. Měření bylo provedeno vlhkoměrem a teploměrem Thermo-Hygro E0301-THW301 (obrázek č.28). Přístroj měří obě hodnoty současně.



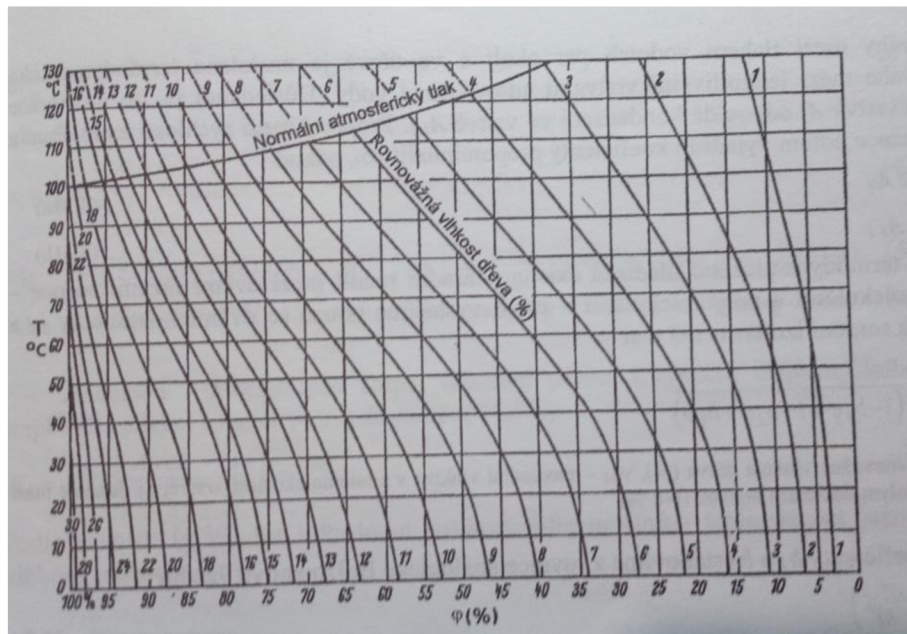
Obr. 28 teploměr s vlhkoměrem Thermo-Hygro E0301-THW301, zdroj: autor práce, 2024

Nepřesnost přístroje výrobce uvádí u měření teploty 0,1 stupně celsia a u měření vlhkosti 0,1 procent. Rozsah přístroje je také dostatečný (obrázek č.29).

| Technické parametry | |
|------------------------------|---|
| Zobrazení vnitřní teploty: | v rozsahu -10 °C až 60 °C |
| Doporučený rozsah měření: | 0 °C až 50 °C |
| Teplotní rozlišení: | 0,1 °C |
| Zobrazení teplotního indexu: | 26 °C až 59 °C |
| Zobrazení vnitřní vlhkosti: | 25 % až 95 % relativní vlhkosti ± 3 % |
| Zobrazení venkovní teploty: | v rozsahu -50 °C až 60 °C ± 1 °C |
| Teplotní rozlišení: | 0,1 °C |
| Napájení: | alkalická baterie 1x 1,5V AAA |

Obr. 29 technické parametry přístroje Thermo-Hygro E0301-THW301, zdroj: autor práce, 2024

Na základě měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu lze odhadnout stav vlhkosti dřeva z nomogramu. Dle tvrzení Horáček (1998), je obvyklý nomogram Keylwerth-Loughboroughův; (obrázek č.30).



Obr. 30 Keylwerth-Loughboroughův nomogram pro stanovení rovnovážné vlhkosti dřeva v závislosti na relativní vzdušné vlhkosti ϕ a teplotě prostředí T , zdroj: Horáček (1998) = Kollmann a Coté 1968

Zda již dřevo rovnovážný stav dosáhlo bylo zjištěno pomocí měření hmotností vzorků. Hmotnost byla měřena zlatnickou váhou CSP-148 (obrázek č.31).



Obr. 31 zlatnická váha CSP-148, zdroj: autor práce, 2024

Hmotnostní rozsah je u této váhy max. 200 gramů a nepřesnost přístroje je 0,01 gramu, což pro tento účel vyhovuje (obrázek č.32).

| | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> MH-50 50g/0.01g | <input type="checkbox"/> MH-200 200g/0.01g | <input type="checkbox"/> MH-500 500g/0.1g |
| <input type="checkbox"/> MH-100 100g/0.01g | <input type="checkbox"/> MH-300 300g/0.01g | <input type="checkbox"/> MH-500 500g/0.01g |

Obr. 32 technické parametry zlatnické váhy CSP-148, zdroj: autor práce, 2024

Po ukončení adsorpce vody ze dřeva a tím i ustálení hmotnosti na zmíněný rovnovážný stav se hmotnost vzorků již nemění. Proto byla posledních 10 dní klimatizace vzorků, měřena i hmotnost u vybraných kusů. K měření byly vybrány 3 kusy vzorků od každé dřeviny a denně byly měřeny. Z měření těchto tří vzorků od každé dřeviny byl vypočten denní aritmetický průměr a ten následně zaznamenán do grafů (obrázek č.48-50). Grafy byly provedeny v programu Excel.

Následně byly vzorky očíslovány a rozměrově a hmotnostně proměřeny. Rozměrové proměření bylo provedeno pomocí posuvného měřítka značky Somet, s nepřesností 0,02 milimetru a rozsahem 400 milimetrů. Hmotnost vzorků byla měřena zlatnickou váhou CSP-148 (obrázek č.32).

Důvodem měření bylo zjištění hustoty vzorků a pro stanovení následné hustotní změny.

4.1.2 Kondicionace vzorků

Kondicionace – vložení vzorků do nálevů, byla vybrána s ohledem, aby co nejvíce odpovídala prostředí, kde bude dřevo aplikováno. Pro první skupinu dřev byla zvolena koňská mrva. V každé nádobě bylo vloženo vždy 20 kusů zkušebních vzorků od jedné dřeviny (obrázek č. 33-34).



Obr. 33-34, kondicionace v nálevu z koňské mrvy, vlevo příprava směsi, vpravo vzorky v nálevu, zdroj: autor práce, 2021

Pro druhou skupinu byl vybrán roztok technické močoviny. Opět 20 kusů v každé nádobě od každé dřeviny. Roztok se skládá z močoviny a z destilované vody v hmotnostním poměru 1:1 (obrázek č.35-36).



Obr. 35-36, kondicionace v nálevu roztoku močoviny a destilované vody v hmotnostním poměru 1:1, vlevo příprava roztoku, vpravo již vzorky v nálevu, zdroj: autor práce, 2021

Atest technické močoviny je zde dokumentován (obrázek č.37).

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Název: | MOČOVINA | |
| Charakteristika: | Močovina, technická kvalita | |
| Ostatní názvy: | Karbamid urea, karbonyldiamid | |
| CAS: | 57-13-6 | |
| EINECS: | 200-315-5 | |
| Vzorec: | CO(NH ₂) ₂ | |
| Vzhled: | Bílé granule bez zápachu | |
| Specifikace jakosti, parametry: | | |
| Parametr | MJ | Hodnota |
| Dusík (N) | % | Min. 46,0 |
| Biuret | % | Max. 1,3 |
| Ztráta sušením | % | Max. 0,5 |
| Velikost částic 1,0 – 4,0 mm | % | Min. 90,0 |

Obr. 37 atest výrobku granulovaná močovina, použité k výrobě močovinného roztoku, zdroj: autor práce, 2021

Technická močovina je prodávána v granulované, tedy krystalické podobě. Bylo by technicky velmi problematické odebrat tak velké množství moče u zvířat, aby to stačilo na 3 nálevy. Dalším důvodem tohoto výběru byla porovnatelnost s jinými vědeckými pracemi a možnost opakování tohoto pokusu.

Aby mohlo dřevo do sebe močovinu reálně absorbovat, bylo nutné granulát dostat do tekutého stavu. Proto byl vytvořen roztok. Močovina je dobře rozpustná ve vodě, proto byla k ředění zvolena destilovaná voda. Hmotnostní poměr roztoku byl zvolen 1:1. V tomto poměru je močovina již zcela rozpuštěna. Dle výpočtu na Labo.cz, hustota močoviny je 1323 g/l. Hustota vody je 998 g/l. Vzhledem k rozdílným hustotám obou složek pak použitý zkušební roztok obsahuje objemově 43 procent močoviny a 57 procent vody. Při přepočtu z Chemicalaid.com (2024), vychází objemový podíl jednotlivých prvků v celkovém roztoku - uhlík 8,6 procent, vodík 2,89 procent, dusík 20,06 procent a kyslík 11,46 procent;. Zbytek objemu byla voda.

Po namíchání roztoků a vložení vzorků do nálevů bylo u obou změřeno pH. Měření bylo provedeno přístrojem Trans Instruments Eco pH Duo a to zprůměrování 2 pokusů. Obrázek č.38. Nepřesnost měření přístroje je ±0,2 pH a rozsah přístroje je 0-14 pH (obrázek č.40). Před měřením bylo nutné ještě přístroj kalibrovat zkušebním roztokem (obrázek č.39).



Obr. 38-40 přístroj na měření pH, Trans Instruments Eco pH Duo, vlevo přístroj, uprostřed kalibrační roztok, vpravo přesnost měření přístroje, zdroj: autor práce, 2024

Vzorky byly v nálevkách po dobu 205 dní. Po vyjmutí byly vzorky očištěny pod tekoucí vodou.

Následovala vlhkostní stabilizaci vzorků před klimatizační komorou po dobu 30 dní. Vzorky byly uloženy v klimatizované místnosti při konstantní teplotě 20 ± 2 stupně celsia a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 procent.

4.2 Zkoušky vzorků

Po degradačních přípravách vzorků bylo provedeno na vzorcích s rozměry 300x20x20 milimetrů následovalo klimatizování na 12 procent vlhkosti dřeva z důvodu obvyklého hodnocení testů vzorků při této vlhkosti a následně byly provedeny pevnostní zkoušky.

Vzorky s rozměry 30x20x20 milimetrů byly po těchto degradacích vysušeny na 0 procent vlhkosti dřevin a následně ponořeny do destilované vody pro získání maximálních hodnot bobtnání. Následně bylo vše vyhodnoceno.

4.2.1 Klimatizace na 12 procent, pevnostní zkoušky

Následovalo vložení všech vzorků do klimatizační komory BMT MMM Group (obrázek č.41).



Obr. 41 klimatizační komora BMT MMM Group, zdroj: autor práce, 2022

Zde byly vzorky klimatizovány v prostředí s teplotou $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkostí vzduchu 65 procent, což odpovídá vlhkosti dřeva 12 procent po dobu 20 dní.

Po dvaceti dnech klimatizování byly vzorky vyjmuty a hmotnostně proměřeny. 2 hodiny poté byly vzorky opět hmotnostně proměřeny. Nebyl shledán větší hmotnostní rozdíl, než 0,1 procent a dalo se tedy uvažovat dosažení rovnovážného stavu, tedy 12 procent vlhkosti dřeva bylo dosaženo. Hmotnost byla měřena zlatnickou vahou CSP-148 (obrázek č.31). Hmotnosti byly zaznamenány. Následovalo rozměrové proměření z důvodu následných výpočtů hustoty vzorků. Rozměrové měření bylo prováděno pomocí posuvného měřítka značky Somet, s nepřesností 0,02 milimetru a rozsahem 400 milimetrů. Hmotnost vzorků byla měřena zlatnickou vahou CSP-148 (obrázek č.32).

Ihned po měření vzorků následovalo proměření tříbodové zkoušky ohybem. Jednalo se o měření modulu pružnosti v ohybu v podélném směru dle ČSN 49 0116. Rozteče zkušebních podpěr byly 240 milimetrů a každá měla průměr 30 milimetrů. Zatěžovací tlačný trn byl ve

středu těchto podpěr. Vzorky byly vždy uloženy tak, že se zatěžovalo v tangenciálním směru vláken, tedy kolmo na radiální plochu vzorku. Zatížení probíhalo konstantní rychlostí. Výpočet modulu pružnosti byl vypočten ze dvou nastavených zatížení softwarem stroje. Při jedné zkoušce proběhlo i měření pevnosti v ohybu kolmo na vlákna v tangenciálním směru dle ČSN 49 0115. Zkoušky byly provedeny na stroji TIRA test 2850 S (obrázek č.42-44).



Obr. 42-44 zkušební zařízení pro mechanických zkoušení vzorků, vlevo zkušební stroj TIRA test 2850 S, uprostřed měřicí a snímací zařízení TIRA EDC 580, vpravo vyhodnocovací software TIRAtest TestCfg: TT2850 -TRS 2, zdroj: autor práce, 2022

Všechny požadavky norem byly splněny a výsledky zkoušek byly přes elektronický software zaznamenány a překopírovány do programu Excel pro následné zpracování.

4.2.2 Bobtnání vzorků

Zkušební vzorky o rozměrech 30x20x20 milimetrů byly vloženy do klimatizační komory. Použita byla klimatizační komora BINDER JP 20, třída 2.0 (obrázek č.45-46).



Obr. 45-46 sušení vzorků, vlevo klimatizační komora pro sušení vzorků BINDER JP 20, třída 2.0, vpravo vyjmutí vzorků, zdroj: autor práce, 2022

Vzorky byly sušeny dle normy ČSN 49 0103 při teplotě 103 ± 2 °C po dobu 18 hodin. Následovalo vychlazení a hmotnostní proměření. 2 hodiny poté byly provedeno opětovné hmotnostní měření. Hmotnost byla měřena zlatnickou váhou CSP-148 (obrázek č.31).

Hmotnostní rozdíl měření nepřekročil 0,1 procent a tedy u vzorků bylo možné uvažovat o dosažení rovnovážného stavu a tedy dřeviny byly vysušené na 0 procent vlhkosti dřeva.

Ihned následovalo rozměrové proměření. To bylo provedeno opět posuvným měřítkem značky Somet, s nepřesností 0,02 milimetru a rozsahem 400 milimetrů. Hodnoty měření hmotností i rozměrové hodnoty byly zaznamenány pro další výpočty bobtnání a hustoty.

Následovalo vložení vzorků do destilované vody. Vzorky byly v destilované vodě po dobu 12 dní. Ihned po vyjmutí vzorků z destilované vody byly vzorky opět hmotnostně i rozměrově proměřeny stejnými měřidly. Tyto hodnoty byly opět zaznamenány pro výpočet bobtnání a změny hustoty.

4.3 Statistické výpočty

Po měření pevností v ohybu kolmo na vlákna v tangenciálním směru a modulové pružnosti v ohybu v podélném směru byly naměřené hodnoty ze zkušebního stroje TIRA test 2850 S překopírovány do programu Excel a následně i v tomto programu dopočítány hodnoty hustoty. Následně byly vypočteny rozdíly hodnot degradovaných dřevin od referenčních. Statistika měření byla provedena v programu Statistica 14.0.0.15 Tibco Software Inc., graficky a numericky a někde v programu Excel. Popisná statistika taktéž s oběma programy.

Vzorky byly porovnány v jednotlivých fázích pokusu. Byly zhodnoceny rozdíly a změny mezi referenčními vzorky, vzorky naloženými v koňské mrvě a vzorky z roztoku padesátiprocentní technické močoviny. Porovnání je provedeno u každé dřeviny samostatně. Grafy jsou uspořádány do přehledné sestavy tak, aby se daly snadno vzájemně porovnat i dle směru vláken a dává to tak prostor pro jednoduché vyhodnocení změn u jednotlivých dřevin a jednodušší určení vhodné dřeviny pro zemědělskou výrobu a specificky pro živočišnou oblast výroby.

5 Výsledky

Při testování vzorků byly splněny všechny požadavky výše zmíněných norem. Byla snaha o kvalitní test zkušebních vzorků a také o kvalitní vyhodnocení chování jednotlivých dřevin v prostředí živočišné výroby a objasnění vlivu degradačních činitelů na materiál dřevo a to konkrétně u dřevin trnovník akát, dub zimní, letní mix. a sibiřský modřín.

5.1 Vzorky před kondicionací

Po naformátování bylo třeba vzorky vlhkostně stabilizovat a dostat je do vlhkostně rovnovážného stavu. Důvodem je objektivní porovnání dřevin a zjištění vlhkosti dřevin před vložení do nálevů. Jak také tvrdí Horáček (1998), že při současném stavu vlhkostní rovnováhy dřeviny a při znalosti relativní vlhkosti a teploty lze vyčíst hodnotu vlhkosti dřeviny z nomogramu. Obvyklý nomogram pak je Keylwerth-Loughboroughův;

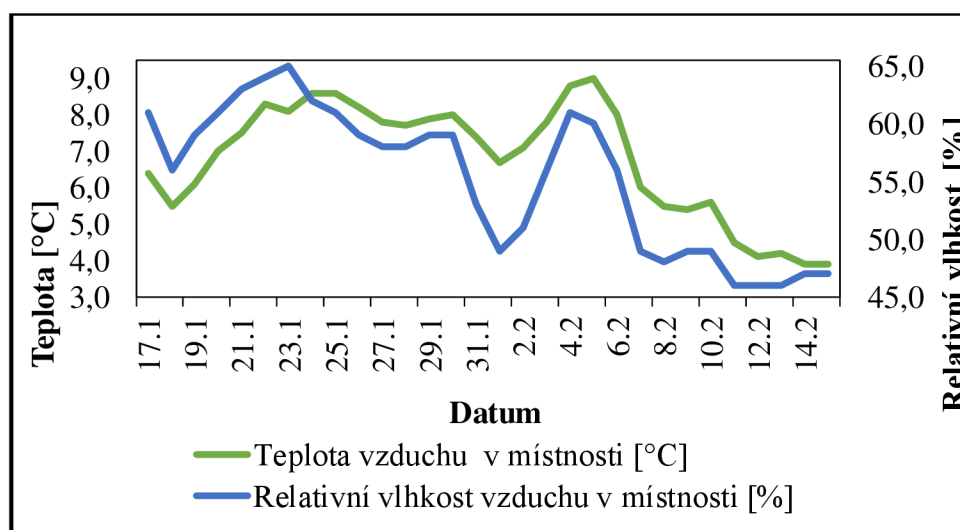
5.1.1 Klimatizace vzorků před vložením

Po dobu 30 dní byly vzorky uloženy v tepelně a vlhkovně stabilní místnosti, kde byla denně měřena teplota a relativní vlhkost vzduchu. Popisná statistika byla provedena (tabulka č.2).

| Teplota vzduchu v místnosti [°C] | | Relativní vlhkost vzduchu v místnosti [%] | |
|----------------------------------|-----|---|------|
| Stř. hodnota | 6,8 | Stř. hodnota | 55,3 |
| Směr. odchylka | 1,6 | Směr. odchylka | 6,2 |
| Rozptyl výběru | 2,5 | Rozptyl výběru | 39,0 |
| Rozdíl max-min | 5,1 | Rozdíl max-min | 19 |
| Minimum | 3,9 | Minimum | 46 |
| Maximum | 9,0 | Maximum | 65 |
| Počet dní | 30 | Počet dní | 30 |

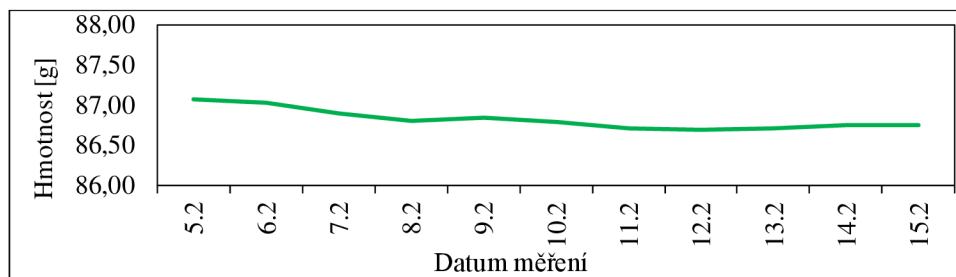
Tab. 2 popisná statistika teploty a relativní vlhkosti v místnosti před vložením vzorků do nálevů, zdroj: autor práce, Excel, 2024

Po dobu těchto 30 dní byla průměrná teplota v místnosti 6,8 stupně celsia a průměrná relativní vlhkost vzduchu 55 procent. Přičemž směrodatná odchylka byla u teploty 1,59 a u relativní vlhkosti pak 0,06. Grafické vyobrazení průběhu teploty a relativní vlhkosti bylo provedeno také v programu excel (obrázek č.44).

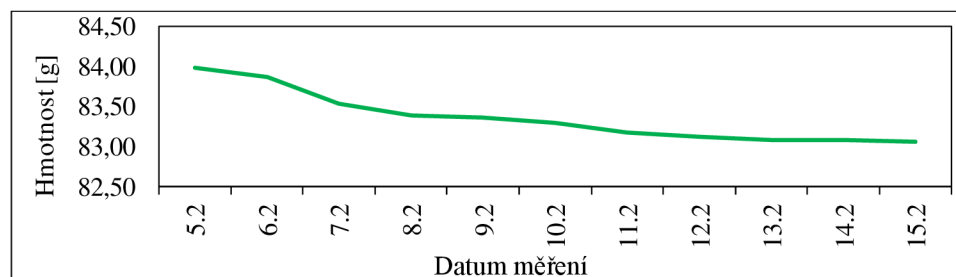


Obr. 47 hodnoty teploty a relativní vlhkosti v místnosti při stabilizaci vzorků před vložením do nálevů, zdroj: autor práce, Excel, 2024

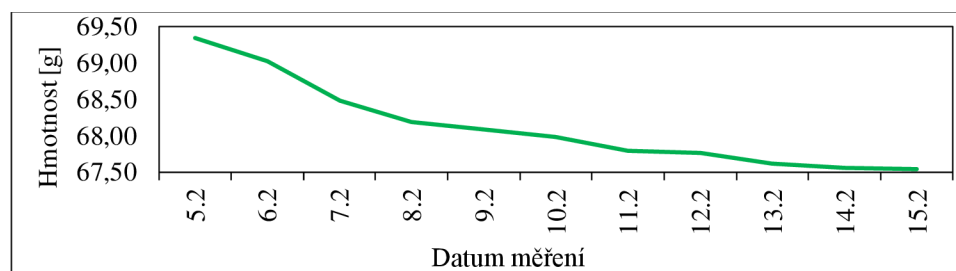
Pro zjištění dosažení rovnovážného stavu ve dřevě byla po dobu 10 dní měřena hmotnost vybraných 3 kusů vzorků od každé dřeviny. Tyto hodnoty z každého dne byly zprůměrovány a zaznamenány do grafů. Z grafů je již patrna minimální hmotnostní změna (obrázek č.48-50).



Obr. 48 trnovník akát, kontrola dosažení rovnovážného stavu, průměrné denní hodnoty hmotnosti 3ks vzorků před vložením do nálevů, zdroj: autor práce, Excel, 2024



Obr. 49 dub zimní, letní mix., kontrola dosažení rovnovážného stavu, průměrné denní hodnoty hmotnosti 3ks vzorků před vložením do nálevů, zdroj: autor práce, Excel, 2024



Obr. 50 modřín sibiřský, kontrola dosažení rovnovážného stavu, průměrné denní hodnoty hmotnosti 3ks vzorků před vložením do nálevů, zdroj: autor práce, Excel, 2024

Rovnovážný vlhkostní stav tedy u dřevin nastal. Hodnota vlhkosti dřevin odpovídá v Keylwerth-Loughboroughově nomogramu hodnotě 10,5 procenta.

Po dosažení rovnovážného stavu u dřevin byly připraveny nálevy pro uložení dřevin ke kondicionaci. Po přípravě roztoků byly změřeny pH v obou případech. Měření bylo provedeno vždy dvakrát a z hodnot byl vytvořen aritmetický průměr. U roztoku močoviny bylo naměřeno pH 9,1, tedy zásadité. U koňské mrvy bylo naměřeno pH 7,4, tedy mírně zásadité.

Před vložením vzorků ke kondicionaci byly vzorky očíslovány a rozměrově i hmotnostně proměřeny. Popisná statistika měření hmotností byla provedena (tabulka č.3).

| Proměnná | Popisné statistiky hmotnosti vzorků před kondicionací | | | | | |
|----------------------|---|--------|--------|-----------|----------|----------|
| | platných N | Průměr | Medián | Minimální | Maximál. | sm.odch. |
| Modřín močovina-před | 19 | 70,16 | 70,00 | 64,17 | 76,29 | 3,60 |
| Modřín ko.mrva-před | 21 | 74,43 | 74,14 | 63,43 | 89,45 | 5,71 |
| Modřín bez-před | 20 | 76,66 | 78,36 | 66,69 | 87,44 | 6,25 |
| Akát močovina-před | 20 | 86,98 | 86,68 | 82,01 | 93,84 | 3,41 |
| Akát ko.mrva-před | 20 | 87,40 | 87,81 | 79,26 | 95,03 | 4,20 |
| Akát bez-před | 20 | 87,39 | 87,18 | 82,45 | 92,69 | 2,76 |
| Dub močovina-před | 20 | 79,31 | 80,69 | 64,46 | 90,86 | 6,70 |
| Dub - ko.mrva-před | 20 | 81,62 | 82,34 | 71,54 | 93,24 | 6,02 |
| Dub bez-před | 20 | 82,04 | 81,33 | 72,77 | 91,00 | 5,41 |

Tab. 3 popisná statistika hmotností vzorků před kondicionací, zdroj: autor práce, Excel, Statistica, 2024

5.2 Vzorky po kondicionaci

Po kondicionaci, klimatizaci 30 dní a po klimatizování na 12 procent vlhkosti dřeva byly vzorky opět hmotnostně proměřeny a byla provedena statistika (tabulka č.4).

| Proměnná | Popisné statistiky hmotnosti vzorků před kondicionací | | | | | |
|--------------------|---|--------|--------|-----------|----------|----------|
| | platných N | Průměr | Medián | Minimální | Maximál. | sm.odch. |
| Modřín močovina-po | 19 | 93,84 | 94,08 | 88,49 | 100,75 | 3,40 |
| Modřín ko.mrva-po | 21 | 68,77 | 67,81 | 59,67 | 83,47 | 6,11 |
| Modřín bez-po | 20 | 74,82 | 75,94 | 63,64 | 86,18 | 6,69 |
| Akát močovina-po | 20 | 115,11 | 113,85 | 108,89 | 125,31 | 4,18 |
| Akát ko.mrva-po | 20 | 82,60 | 82,41 | 76,74 | 89,71 | 3,73 |
| Akát bez-po | 20 | 84,06 | 84,14 | 79,70 | 91,21 | 2,94 |
| Dub močovina-po | 20 | 121,88 | 123,21 | 107,80 | 131,48 | 6,82 |
| Dub - ko.mrva-po | 20 | 80,39 | 80,98 | 69,87 | 92,81 | 6,21 |
| Dub bez-po | 20 | 80,30 | 79,32 | 71,42 | 90,21 | 5,63 |

Tab. 4 popisná statistika hmotností vzorků po kondicionaci a po klimatizaci dřev na 12 procent vlhkosti dřeva, zdroj: autor práce, Excel, Statistica, 2024

Pro větší přehlednost uvádím procentní změnu hmotností vzorků před a po kondicionaci (tabulka č.5).

| Procentní změna hmotností před a po nálevu | | |
|--|--------|--------|
| | Průměr | Medián |
| Modřín močovina | 33,74 | 34,40 |
| Akát močovina | 32,34 | 31,35 |
| Dub močovina | 53,67 | 52,70 |
| Modřín ko.mrva | -7,60 | -8,54 |
| Akát ko.mrva | -5,48 | -6,16 |
| Dub - ko.mrva | -1,51 | -1,65 |
| Modřín bez | -2,40 | -3,09 |
| Akát bez | -3,81 | -3,48 |
| Dub bez | -2,12 | -2,47 |

Tab. 5 procentní změna hmotnosti po vyndání vzorků z nálevů, záporné hodnoty jsou úbytek hmotnosti, zdroj: autor práce, Excel, 2024

5.2.1 Zkoušky pevnosti a modulu pružnosti

Statická zkouška třibodovým ohybem pro zjištění modulu pružnosti v podélném směru dle ČSN 49 0116 a zároveň pro zjištění pevnosti v ohybu kolmo na vlákna v tangenciálním směru dle ČSN 49 0115 probíhala při jednom zatížení. Detail průběhu zkoušky dokumentován (obrázek č.51).

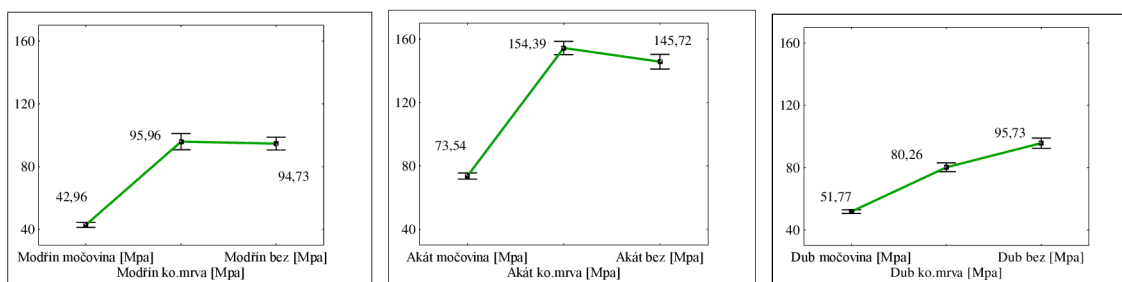


Obr. 51 tříbodová zkouška ohybem kolmo na vlákna v tangenciálním směru, detail průhybu vzorku, zdroj: autor práce, 2022

Pevnost v ohybu kolmo na vlákna v tangenciálním směru byla provedena a zaznamenána. Následně byla provedena popisná statistika (tabulka č.6). A také bylo provedeno i grafické vyhodnocení (obrázky č.52-54).

| Proměnná | platných N | Průměr | Medián | Minimální | Maximální | sm.odch. |
|-----------------|------------|--------|--------|-----------|-----------|----------|
| Modřín močovina | 19 | 42,96 | 42,71 | 27,73 | 56,76 | 7,00 |
| Modřín ko.mrva | 21 | 95,96 | 95,92 | 31,34 | 132,56 | 23,50 |
| Modřín bez | 20 | 94,73 | 89,41 | 76,05 | 133,28 | 18,14 |
| Akát močovina | 20 | 73,54 | 75,64 | 52,60 | 86,55 | 8,81 |
| Akát ko.mrva | 20 | 154,39 | 150,97 | 116,96 | 182,54 | 18,86 |
| Akát bez | 20 | 145,72 | 151,76 | 71,93 | 166,98 | 20,86 |
| Dub močovina | 20 | 51,77 | 51,99 | 42,83 | 62,41 | 5,27 |
| Dub ko.mrva | 20 | 80,26 | 76,91 | 63,91 | 118,97 | 12,70 |
| Dub bez | 20 | 95,73 | 96,00 | 66,77 | 127,97 | 14,87 |

Tab. 6 popisná statistika pro pevnost v ohybu dle dřeviny a kondicionace [MPa], zdroj: autor práce, Excel, Statistica, 2024

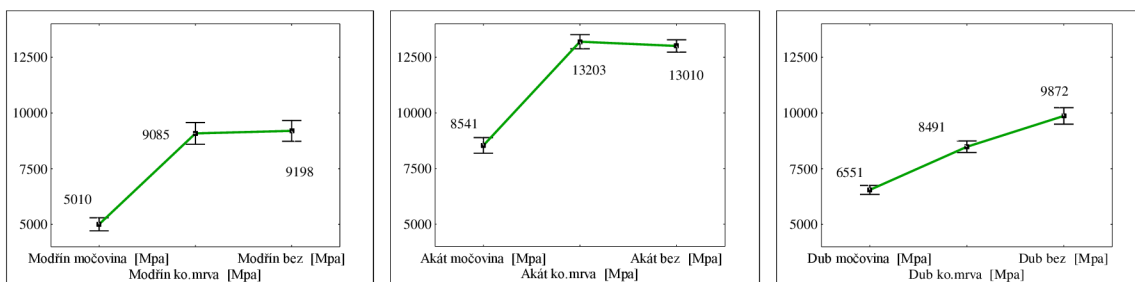


Obr. 52-54 grafické znázornění změn pevnosti dle dřeviny a způsobu kondicionace [MPa], propojeny jsou aritmetické průměry jednotlivých skupin (zobrazeno číselně) a svorky jsou směrodatná odchylka, zdroj: autor práce, Statistica, 2024

Na vzorcích byly provedeny při jednom zatížení i zkoušky modulu pružnosti v ohybu v podélném směru. Výsledky byly zaznamenány a byla provedena popisná statistika (tabulka č.7). A grafické vyhodnocení (obrázek č.55-57).

| Proměnná | platných N | Průměr | Medián | Minimální | Maximální | sm.odch. |
|-----------------|------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| Modřín močovina | 19 | 5009,74 | 4844,76 | 2346,73 | 7125,57 | 1275,62 |
| Modřín ko.mrva | 21 | 9085,06 | 8545,61 | 3687,70 | 12750,31 | 2225,15 |
| Modřín bez | 20 | 9198,03 | 8781,79 | 6616,48 | 14107,43 | 2090,65 |
| Akát močovina | 20 | 8541,23 | 9027,65 | 4706,86 | 10422,90 | 1574,46 |
| Akát ko.mrva | 20 | 13202,54 | 13230,38 | 10685,40 | 16903,36 | 1417,76 |
| Akát bez | 20 | 13009,66 | 13328,19 | 10520,16 | 15505,20 | 1235,20 |
| Dub močovina | 20 | 6551,12 | 6566,75 | 5126,41 | 8250,27 | 899,95 |
| Dub ko.mrva | 20 | 8490,76 | 8519,08 | 6791,70 | 11747,86 | 1160,20 |
| Dub bez | 20 | 9871,68 | 9701,57 | 7379,44 | 13142,52 | 1667,70 |

Tab. 7 popisná statistika modul pružnosti dle dřeviny a kondicionace [MPa], zdroj: autor práce, Statistica, 2024



Obr. 55-57 grafické znázornění změn modulu pružnosti dle dřeviny a způsobu kondicionace [MPa], propojeny jsou průměry jednotlivých skupin (zobrazeno číselně) a svorky jsou směrodatná odchylka. zdroj: autor práce, Statistica, 2024

5.3 Bobtnání vzorků

Vzorky rozměrů 30x20x20 milimetrů byly testovány na změnu bobtnání dřevin. Následuje porovnání bobtnání u vzorků v kondicionaci a referenčních. Sledovány byly

5.3.1 Hmotnostní změny při bobtnání vzorků

Vzorky Hmotnost byla měřena po vyndání vzorků z sušící komory, kde byly vzorky vysušeny na 0 procent vlhkosti dřeva a následně po ponoření dřevin do destilované vody na 12 dní. Na vzorcích byla proměřena hmotnost při vyndání ze sušící komory a následně po vyndání vzorků z destilované vody. Na hodnotách měření byla provedena popisná statistika (tabulka č.8).

| Proměnná | Popisné statistiky hmotnost vzorků před a po nálevu | | | | | |
|------------------------|---|--------|--------|-----------|----------|----------|
| | platných N | Průměr | Medián | Minimální | Maximál. | sm.odch. |
| Modřín močovina - W=0% | 19 | 9,42 | 9,34 | 8,94 | 10,34 | 0,40 |
| Modřín ko.mrva - W=0% | 21 | 6,31 | 6,15 | 5,27 | 7,55 | 0,57 |
| Modřín bez - W=0% | 20 | 6,97 | 7,06 | 5,94 | 7,76 | 0,59 |
| Akát močovina - W=0% | 20 | 11,18 | 11,24 | 10,41 | 12,04 | 0,48 |
| Akát ko.mrva - W=0% | 20 | 7,72 | 7,69 | 7,01 | 8,46 | 0,33 |
| Akát bez - W=0% | 20 | 7,87 | 7,83 | 6,28 | 8,92 | 0,53 |
| Dub močovina - W=0% | 20 | 11,04 | 11,09 | 10,07 | 11,70 | 0,46 |
| Dub - ko.mrva - W=0% | 20 | 7,57 | 7,57 | 6,58 | 8,73 | 0,62 |
| Dub bez - W=0% | 20 | 7,58 | 7,54 | 6,68 | 8,49 | 0,53 |

Tab. 8 hmotnost vzorků ihned po vyndání vzorků ze sušící komory, zdroj: autor práce, Statistica, 2024

| Proměnná | Popisné statistiky hmotnost vzorků před a po nálevu | | | | | |
|--------------------------|---|--------|--------|-----------|----------|-----------|
| | platných N | Průměr | Medián | Minimální | Maximál. | sm.odc h. |
| Modřín močovina - W=max% | 19 | 12,52 | 12,45 | 11,67 | 13,58 | 0,53 |
| Modřín ko.mrva - W=max% | 21 | 11,24 | 11,17 | 9,88 | 12,86 | 0,71 |
| Modřín bez - W=max% | 20 | 11,43 | 11,52 | 10,24 | 12,30 | 0,50 |
| Akát močovina - W=max% | 20 | 14,39 | 14,43 | 13,59 | 15,18 | 0,55 |
| Akát ko.mrva - W=max% | 20 | 11,83 | 11,81 | 10,75 | 12,83 | 0,51 |
| Akát bez - W=max% | 20 | 11,23 | 11,18 | 9,81 | 12,82 | 0,60 |
| Dub močovina - W=max% | 20 | 14,00 | 13,97 | 12,87 | 15,03 | 0,65 |
| Dub - ko.mrva - W=max% | 20 | 13,55 | 13,71 | 12,10 | 14,69 | 0,72 |
| Dub bez - W=max% | 20 | 12,81 | 12,88 | 11,41 | 13,77 | 0,66 |

Tab. 9 hmotnost vzorků ihned po vyndání vzorků z destilované vody, zdroj: autor práce, Statistica, 2024

Pro větší přehlednost byla vyhodnocena procentní změna hmotnosti vzorků před a po kondicionaci (tabulka č.10).

| Procentní změna hmotností z W=0% na W=max% | | |
|--|--------|--------|
| | Průměr | Medián |
| Modřín močovina | 32,94 | 33,30 |
| Akát močovina | 28,74 | 28,38 |
| Dub močovina | 26,79 | 25,92 |
| Modřín ko.mrva | 78,16 | 81,63 |
| Akát ko.mrva | 53,12 | 53,51 |
| Dub - ko.mrva | 78,95 | 81,11 |
| Modřín bez | 63,89 | 63,29 |
| Akát bez | 42,67 | 42,78 |
| Dub bez | 69,02 | 70,76 |

Tab. 10 procentní změna hodnot hmotností při vlhkosti 0 procent a při maximální vlhkosti, data jsou rozdělena dle druhu dřeviny a druhu kondicionace, zdroj: autor práce, Excel, 2024

5.3.2 Rozměrové změny při bobtnání

Při vysušení dřevin na 0 procent a následné ponoření vzorků do destilované vody na 12 dní byly kromě hmotnosti také proměřeny délkové rozměry vzorků.

| Proměnná | Popisná statistika – rozměrové změny při bobtnání [%] | | | | | | | |
|----------------------------|---|--------|--------|-----------|-------|-------|-------|----------|
| | platných N | Průměr | Medián | Minimální | Max. | Dolní | Horní | sm.odch. |
| Modřín - močovina - Ax [%] | 19 | 0,21 | 0,29 | -0,35 | 0,80 | -0,19 | 0,51 | 0,37 |
| Modřín - močovina - Ra [%] | 19 | 1,06 | 1,10 | 0,40 | 2,07 | 0,79 | 1,26 | 0,41 |
| Modřín - močovina - Ta [%] | 19 | 2,18 | 2,26 | 1,04 | 3,68 | 1,68 | 2,68 | 0,64 |
| Modřín - ko.mrva - Ax [%] | 21 | 0,66 | 0,64 | 0,13 | 1,26 | 0,51 | 0,80 | 0,28 |
| Modřín - ko.mrva - Ra [%] | 21 | 6,36 | 6,11 | 3,16 | 9,33 | 5,58 | 7,70 | 1,72 |
| Modřín - ko.mrva - Ta [%] | 21 | 8,88 | 9,14 | 5,21 | 12,30 | 6,88 | 10,53 | 2,22 |
| Modřín - bez - Ax [%] | 20 | 0,72 | 0,79 | -0,09 | 1,41 | 0,40 | 1,04 | 0,40 |
| Modřín - bez - Ra [%] | 20 | 5,55 | 5,21 | 3,09 | 10,05 | 3,86 | 7,23 | 2,11 |
| Modřín - bez - Ta [%] | 20 | 8,71 | 8,29 | 4,52 | 13,81 | 6,59 | 10,97 | 2,69 |
| Akát - močovina - Ax [%] | 20 | 0,20 | 0,10 | -0,16 | 0,87 | -0,05 | 0,42 | 0,30 |
| Akát - močovina - Ra [%] | 20 | 1,78 | 1,65 | 0,20 | 6,60 | 0,72 | 2,02 | 1,48 |
| Akát - močovina - Ta [%] | 20 | 3,05 | 2,37 | 0,50 | 9,14 | 1,54 | 4,00 | 2,11 |
| Akát - ko.mrva - Ax [%] | 20 | 0,37 | 0,35 | -0,73 | 0,98 | 0,14 | 0,73 | 0,41 |
| Akát - ko.mrva - Ra [%] | 20 | 6,28 | 6,32 | 4,47 | 7,85 | 5,48 | 7,19 | 1,01 |
| Akát - ko.mrva - Ta [%] | 20 | 8,06 | 7,69 | 6,04 | 10,03 | 6,89 | 9,34 | 1,32 |
| Akát - bez - Ax [%] | 20 | 0,65 | 0,61 | -0,16 | 1,59 | 0,45 | 0,78 | 0,39 |
| Akát - bez - Ra [%] | 20 | 5,88 | 5,58 | 4,00 | 10,84 | 5,10 | 6,30 | 1,47 |
| Akát - bez - Ta [%] | 20 | 6,13 | 6,23 | 4,43 | 8,41 | 5,28 | 6,96 | 1,15 |
| Dub - močovina - Ax [%] | 20 | -0,05 | -0,08 | -0,44 | 0,26 | -0,17 | 0,13 | 0,19 |
| Dub - močovina - Ra [%] | 20 | 1,80 | 1,43 | -0,24 | 5,64 | 0,58 | 2,00 | 1,72 |
| Dub - močovina - Ta [%] | 20 | 4,23 | 3,81 | 1,25 | 8,82 | 2,86 | 5,61 | 1,84 |
| Dub - ko.mrva - Ax [%] | 20 | 0,57 | 0,53 | -0,19 | 1,25 | 0,35 | 0,83 | 0,34 |
| Dub - ko.mrva - Ra [%] | 20 | 6,68 | 6,66 | 4,54 | 8,25 | 6,41 | 7,27 | 0,90 |
| Dub - ko.mrva - Ta [%] | 20 | 9,11 | 9,07 | 6,98 | 11,89 | 8,39 | 9,90 | 1,36 |
| Dub - bez - Ax [%] | 20 | 0,62 | 0,67 | -0,06 | 1,19 | 0,40 | 0,85 | 0,35 |
| Dub - bez - Ra [%] | 20 | 5,76 | 5,55 | 4,52 | 7,38 | 4,94 | 6,36 | 0,90 |
| Dub - bez - Ta [%] | 20 | 8,57 | 8,81 | 6,46 | 10,20 | 7,83 | 9,49 | 1,10 |

Tab. 10 procentní změna rozměrů dle směru vláken a dle druhu dřeviny, zdroj: autor práce, Statistica, 2024

Pro větší přehlednost byla vyhodnocena procentní změna hmotnosti vzorků před a po kondicionaci vzhledem k referenčním vzorkům. Tabulka č.11.

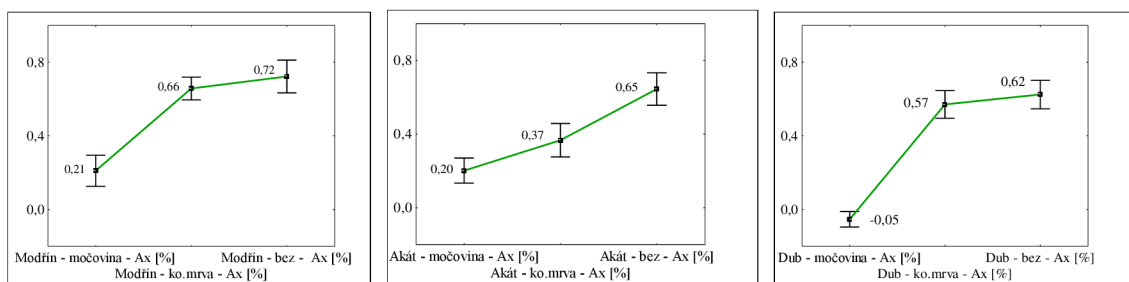
| Procentní změna rozměrů od ref. vzorků. Záporné hodnoty = vzestup rozměrových hodnot | | |
|--|--------|--------|
| | Průměr | Medián |
| Modřín-močovina-Ax [%] | 70,88 | 63,50 |
| Akát-močovina-Ax [%] | 68,70 | 84,25 |
| Dub-močovina-Ax [%] | 108,58 | 111,89 |
| Modřín-ko.mrva-Ax [%] | 9,03 | 18,65 |
| Akát-ko.mrva-Ax [%] | 43,11 | 42,52 |
| Dub-ko.mrva-Ax [%] | 8,61 | 21,02 |
| Modřín-močovina-Ra [%] | 80,81 | 78,86 |
| Akát-močovina-Ra [%] | 69,77 | 70,45 |
| Dub-močovina-Ra [%] | 68,76 | 74,24 |
| Modřín-ko.mrva-Ra [%] | -14,68 | -17,22 |
| Akát-ko.mrva-Ra [%] | -6,84 | -13,29 |
| Dub-ko.mrva-Ra [%] | -15,96 | -20,03 |
| Modřín-močovina-Ta [%] | 74,96 | 72,71 |
| Akát-močovina-Ta [%] | 50,17 | 62,00 |
| Dub-močovina-Ta [%] | 50,57 | 56,73 |
| Modřín-ko.mrva-Ta [%] | -1,99 | -10,24 |
| Akát-ko.mrva-Ta [%] | -31,46 | -23,44 |
| Dub-ko.mrva-Ta [%] | -6,39 | -2,92 |

Tab. 11 procentní změna rozměrů kondiciovaných vzorků oproti referenčním, zhodnoceno dle směrů vláken,

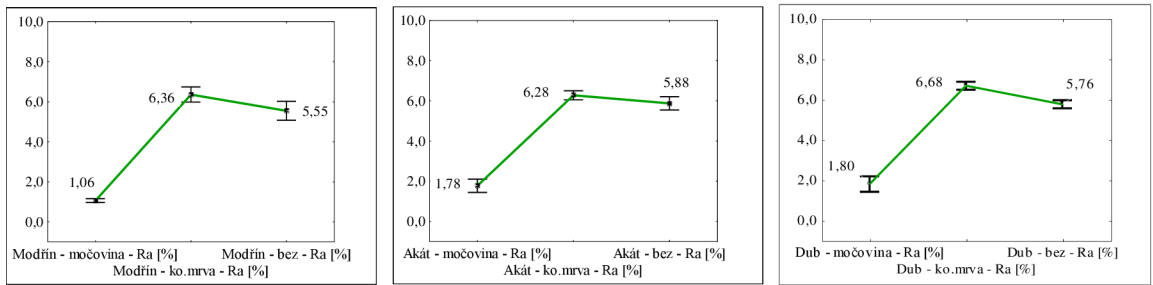
+ zmenšení rozměrových hodnot o x procent

- zvětšení rozměrových hodnot o x procent, zdroj: autor práce, Statistica, 2024

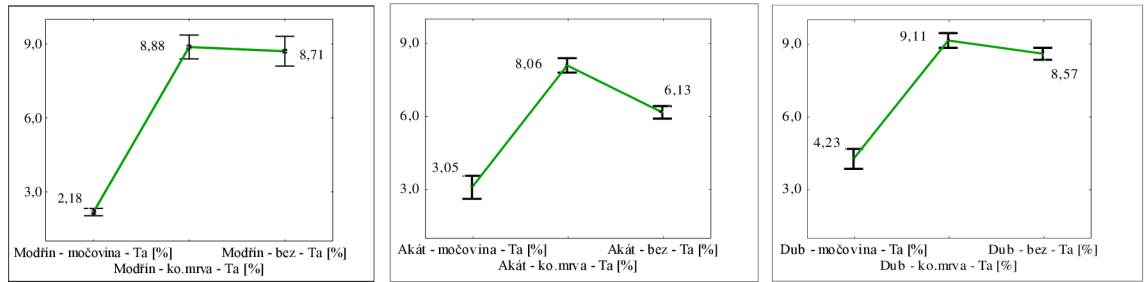
Rozměrové změny při bobtnání byly provedeny i graficky. Zohledněny jsou i jednotlivé směry vláken. Obrázek č.58-66.



Obr. 58-60 grafické znázornění bobtnání v axiálním směru vláken, dle dřeviny a způsobu kondicionace [%], propojeny jsou průměrné hodnoty jednotlivých skupin a svorkami je znázorněna směrodatná odchylka, zdroj: autor práce, Statistica, 2024



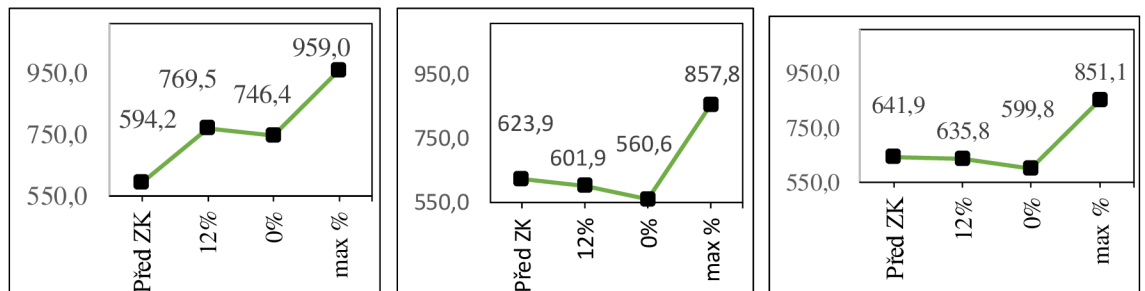
Obr. 61-63 grafické znázornění bobtnání v radiálním směru vláken, dle dřeviny a způsobu kondicionace [%], propojeny jsou průměrné hodnoty jednotlivých skupin a svorkami je znázorněna směrodatná odchylka, zdroj: autor práce, Statistica, 2024



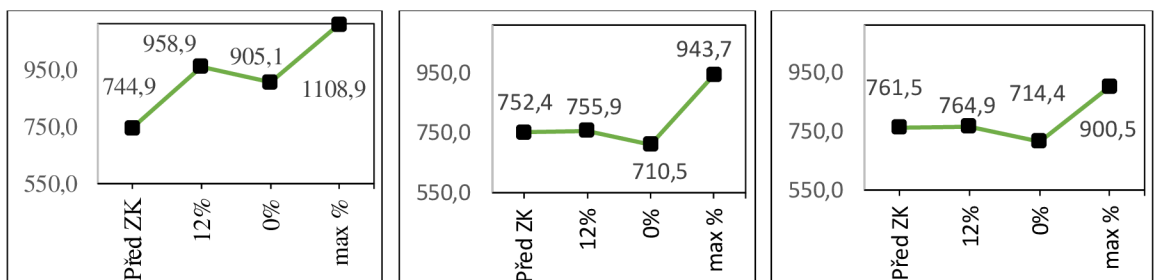
Obr. 64-66 grafické znázornění bobtnání v tangenciálním směru vláken, dle dřeviny a způsobu kondicionace [%], propojeny jsou průměrné hodnoty jednotlivých skupin a svorkami je znázorněna směrodatná odchylka, zdroj: autor práce, Statistica, 2024

5.4 Hustota vzorků

Hustota vzorků v jednotlivých fázích pokusu byla vždy dopočítána z naměřených rozměrových hodnot a z hmotnosti vzorků. Pro přehlednost hustotních změn dle kondicionace a dle dřeviny, byly všechny fáze pokusu dány vždy do jednoho grafu. Obrázek č.67-75.

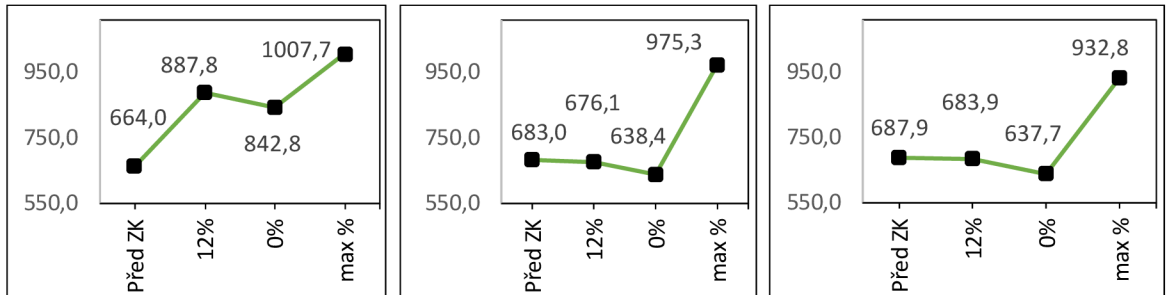


Obr. 67-69 hustoty vzorků modřín sibiřský, vlevo močovina, uprostřed ko.mrva a vpravo referenční vzorky, černé body znázorňují aritmetický průměr a je numericky znázorněn, v grafu pak zleva hodnoty před zkouškou, po klimatizaci na 12 procent vlhkosti, po vysušení na 0 procent a po ponoření do destilované vody na 12 dní (max%), zdroj: autor práce, 2024



Obr. 70-72 hustoty trnovník akát, vlevo močovina, uprostřed ko.mrva a vpravo referenční vzorky,

černé body znázorňují aritmetický průměr a je numericky znázorněn,
 v grafu pak zleva hodnoty před zkouškou, po klimatizaci na 12 procent vlhkosti, po vysušení na 0 procent a po ponoření do destilované vody na 12 dní (max%), zdroj: autor práce, 2024



Obr. 73-75 hustota dub zimní, letní mix, vlevo močovina, uprostřed ko.mrva a vpravo referenční vzorky,
 černé body znázorňují aritmetický průměr a je numericky znázorněn,
 v grafu pak zleva hodnoty před zkouškou, po klimatizaci na 12 procent vlhkosti, po vysušení na 0 procent a po ponoření do destilované vody na 12 dní (max%), zdroj: autor práce, 2024

6 Diskuze

Pokud realisticky zhodnotím pokus o výběr vhodné dřeviny pro zemědělské prostředí a potažmo živočišnou výrobu, musím konstatovat, že jsem s výsledky této práce spokojen a z mého pohledu splnila očekávání. Dospěl jsem také k pro mě překvapivým výsledkům.

Nejvíce mě překvapila reakce močoviny se dřevem a s vodou. Proto jsem v této práci věnoval větší část objasnění problematiky této zajímavé sloučeniny. Novinkou pro mě bylo, že při reakci močoviny s vodou se mění pH okolního prostředí a to jak do kyselého, tak i zásadité oblasti a obráceně močovina reaguje na kyselost a zásaditost prostředí ještě větším gradientem. Navíc se za určitých podmínek močovina mění na čistý amoniak a za jiných podmínek se mění na amonný kationt, který reaguje opět odlišně. Také biotoxicita vzniklého amoniaku a amonného kationtu se násobně liší. Při vyšším pH prostředí se desetinasobí biotoxicita. A obráceně, pokud se amoniak přeměňuje zpět na močovinu, sníží se jeho toxicita desetitisíckrát. Všechny druhy amoniaku a močoviny mají lidé i zvířata v těle.

6.1.1 Degradace

Největší degradace byla v testu degradace močovinou, její reakcí ve vodném roztoku, zvýšení pH roztoku na 9,1. Ve dřevě při takovéto zásaditosti dochází k reakci polysacharidické části dřeva – celulózy a hemicelulózy. Následuje alkalická hydrolyza glykosidové vazby, takzvané koncové odštěpování a také vznikají oxidační produkty s novými funkčními skupinami COOH, COH a CO, glykosidové vazby obvykle zůstávají zachovány. Při kompletní oxidaci pak rozklad na CO₂ a H₂O. Pokud se poškodí polysacharidické části dřeva alkalickou hydrolyzou a oxidací, následuje krácení těchto polysacharidických řetězců, což by mělo vést ke ztrátě pevnosti, což se zde stalo. Pokud jsou reakce dřeva přesně takovéto, to by mohlo být předmětem dalšího zkoumání.

Další myšlenkou jsem se zabýval v souvislosti se snížením pevností vzorků. Močovina je krystalická látka a při reakci s vodou se stává tekutou, Pokud by se močovina dostala do buněčných stěn a vzorky bychom vysušily, měla by se opět dostat do krystalického stavu a degradovala by buněčné stěny mechanickou cestou. Toto by také mohlo být prozkoumáno.

6.1.2 Moč zvířat a roztok technické močoviny

Roztok technické močoviny jsem v rešerši popsal podrobně, včetně chemického složení a množství jednotlivých prvků v celkovém objemu roztoku. Rozdíl tohoto roztoku a reálné moči je znatelný. Zvířecí moč obsahuje menší množství močoviny. V reálném prostředí by se výsledků této práce mohlo dosáhnout, ale protože zvířecí moč je s menší koncentrací, tak by to trvalo delší dobu a také by se muselo dosáhnout rovnoměrné přijetí močoviny do dřeva. Zvířatům toto nelze nařídit, proto by se to muselo vyřešit vhodnou konstrukcí například podlahy, aby byla vhodně vyspádovaná a nastával neustálý kontakt dřeva s močovinou.

6.1.3 Rozměrové změny při bobtnání

Pokud se zaměříme na změnu bobtnání po testu vzorků, pak lze konstatovat, že při kondicionování koňskou mrvou, se mírně zhoršují hodnoty bobtnání v radiálním a tangenciálním směru u všech dřevin. Naopak v axiálním směru dojde k vylepšení hodnot. Nejvíce výrazné vylepšení (změnění) hodnot bobtnání ve všech směrech a u všech tří druhů dřevin vychází jednoznačně při kondicionování močovinou. Přibližně je možné konstatovat 70. procentní zmenšení bobtnání oproti vzorkům nekondicionovým.

6.1.4 Reakce dřevin na degradační prostředí

Všechny dřeviny reagovali podobným způsobem. Obecně se dá říci, že koňská mrva zvláště degradační pro dřeviny trnovník akát, dub zimní, letní a sibiřský modřín není. Močovina však má na dřeviny zásadní vliv.

6.1.5 Biodegradace

Biodegradace z mého pohledu by nastávala v oblastech, kde není přítomná močovina. Kde je, dostává se do kontaktu s vodou a začne se rozkládat na amoniak a oxid uhličitý. Amoniak je pro biočinitele toxický a tedy by neměli tyto činitele dřevo napadat. Kde dřevo není v kontaktu s močovinou, platí zásady pro běžné použití dřevin.

6.2 Porovnání s podobnou odbornou prací

Ve své práci zkoumal podobnou problematiku Hackenberg et al. (2021). Testovali dřeviny buk lesní *Fagus sylvatica* L., dub evropský *Quercus spp.* a trnovník akát *Robinia pseudoacacia* L.. Záměrem bylo plastifikovat dřevo pomocí plynného amoniaku za současně zvýšené teploty a tlaku v autoklávu. Část vzorků byla zhuštěna slisováním. Tlak plynného amoniaku v autoklávu byl 7710 hPa po dobu 6 hodin. Následně slisovaná část vzorků byla ukotvena v tlaku po dobu 2 týdnů.

Cílem práce bylo plastifikací amoniakem snížit lisovací tlaky a také omezit návrat dřeviny směrem k původním tloušťkovým hodnotám před slisováním, takzvanému vratnému cyklu.

V práci autor porovnává amoniakem plastifikované dřeviny s amoniakem plastifikované dřeviny s následným slisováním o 20 procent radiálním směrem s referenčními vzorky. Řeší zde změny ohybových vlastností dřeva vlivem těchto úprav.

Zkouška pevnosti ohybem pak byla provedena tříbodovým ohybem podle DIN EN 310 s drobnými odlišnostmi. Hodnoceny byl statický modul pružnosti MOE a modul lomu (pevnost) MOR. Při pokusu sledovali i hustotu. Hustota se navýšila u všech druhů dřevin přibližně o 150 kg/m³ a u slisovaných vzorků ještě o dalších 150 kg/m³, tedy o 15 až 26 procent. Nejvyšší nárůsty hustoty mu vychází u dřevin s nejnižší počáteční hustotou. Proto následně vychází větší pevnostní rozdíly u dřevin s nižší počáteční hustotou.

Pevnost se u plastifikovaných vzorků u buku drobně navýšila a u dubu a akátu drobně snížila. U vzorků následně slisovaných byla pevnost navýšena o přibližně o 40 procent.

Modul pružnosti byl drobně ponížen u plastifikovaných vzorků a u vzorků s následným slisováním pak došlo k navýšení o 15-25 procent.

Další sledovanou oblastí byl průhyb při pevnostních zkouškách. Ten byl navýšen o 40-50 procent u plastifikovaných vzorků a o 50-80 procent u plastifikovaných dřevin s následným zhuštěním.

Významný nárůst objemové hmotnosti je připisován kolapsu buněk. Autor tvrdí, že kolaps buněk způsobí zmenšení lumenu buněk a tedy zvýšení objemové hmotnosti. Proces rozděluje do pěti fází. Suchá buňka, adsorpce amoniaku a bobtnání do lumenu, nabobtnání celé buňky dřeva, desorbce a konsolidace zmenšených rozměrů začínající v lumenu a následuje zcela smrštěná a vysušená buňka. Proces autor popisuje jako autokompresi, která vytváří tzv. rezervu deformace a taktéž způsobuje kolaps cév a vybočení buněčných stěn. Tímto procesem si pak autor vysvětluje větší průhybové hodnoty. Důvod udává, že nejprve se cévy a cévice musí při zatížení narovnat a pak teprve začínají působit tažné síly. Takzvaná rezerva tahu. Při následném slisování pak autor zjišťuje, že tyto deformace se nevyrovnejí vyšším slisováním, ale zvyšuje se o to více průhyb materiálu.

Dalším zmíněním je alkalita prostředí, při které se snadno oddělují vazby hemicelulózy a ligninu a dle tvrzení autora v tomto důsledku dochází ke ztrátě soudržnosti a horší absorpci síly.

Celkovým výsledkem práce autor pak má, že všechny druhy testovaných dřevin jsou mnohem houževnatější a také tažnější. Zkoušky dokazují snížení statického modulu pružnosti po aplikaci amoniaku a její následné zvýšení následným slisováním; .

Pokud porovnáám výsledky práce kolektivu Hackenberg et al. (2021), mohu zdůraznit podobnost výsledků ve změně hustoty a ve snížení pevnostních charakteristik. Zde Hackenberg et al. (2021) ještě tvrdí a dokládá, že slisováním dřeviny dosáhne lepších vlastností; Toto z výsledků těchto nemohu tvrdit. Co ale je zajímavé, že ve své práci Hackenberg et al. (2021) hovoří, že se podstatně zvětšil průhyb materiálu; Toto už tvrdit mohu, protože těchto vysokých průhybů jsem při testování dosahoval také. Průhyby byly dosahovány až 30 milimetrů. Takže se dá říci, že se zvýšila elasticita materiálu, což je zajímavý poznatek a mohl by být také předmětem navázání na tuto práci.

7 Závěr

- Pokud je možné jednoznačně doporučit dřevinu nejvhodnější pro podmínky chovu zvířat v zemědělské výrobě, mohu říci, že by to byl dub zimní, letní mix.
- Důvodem je nejmenší nasákavost dřeviny po degradaci močovinou. Je zde ale podmínka, že se dřevina bude nacházet v prostředí, kde se bude nacházet močovina. Obecně se dá ale říci, že obstáli v testech všechny tři dřeviny a z dubu udělal vítěze rozdíl pěti procent. Při měření hmotnosti dřevin při vysušení na vlhkost dřeviny 0 procent a následně při změření hmotnosti po ponoření dřevin na 12 dní do destilované vody, dub hmotnostně přibral, nasákl 27 procent vody a nejhorší modřín 33 procent. U referenčních vzorků to pak bylo dub 64 procent a modřín 69 procent.
- Co se týká rozměrových změn, je vítězem testů modřín opadavý, kde se rozměrové změny u bobtnání zmenšili o 80 procent oproti referenčním vzorkům. Podmínka je opět stejná, dřevo je třeba dostat do kontaktu s močovinou.
- Celkovým vítězem práce jsou všechny tři dřeviny a jsou tedy vhodné do prostředí chovu hospodářských zvířat. Vystávají zde ještě otázky snížení pevnosti materiálu a zvýšení hustoty. Tyto změny se ale dají řešit například naddimenzováním stavby v její určité části a podobně.
- Největší degradace u dřeva v provozu je voda a pokud se povede snížit nasákavost dřeviny je zásadní problém degradace dřeviny z části vyřešen
- Tato vědecká práce experimentálního charakteru přinesla základní objasnění chování dřevin v prostředí chovu hospodářských zvířat a je možné na ní navázat dalším zkoumáním.
- Doufám, že dřevo se začne více objevovat ve stájích pro chovná zvířata a budou s tímto materiálem opět hospodáři spokojeni, jak tomu bylo dříve.

8 Literatura

- Britannica.com, Ammonia Definition & Uses, Britannica, (2024), web:
<https://www.britannica.com/science/ammonia> .
- Fadrhonicová A, Farmakoterapie kožních nemocí 2 přepracované a rozšířené vydání, Grada Publishing s.r.o-Praha, (1999), ISBN 807169441X
- Fao.org, Carp T3-1, (2024), web:
https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/affris/docs/NewCommonCarp/carpT3-1.pdf .
- Hackenberg H, Zauer M, Dietrich T, Hackenberg K, Wagenführ A, Alteration of Bending Properties of Wood Due to Ammonia Treatment and Additional Densification, Forests, ResearchGate, (2021), r.12, 1110, str.1-7, DOI 10.3390/f12081110, web:
https://www.researchgate.net/publication/354013676_Alteration_of_Bending_Properties_of_Wood_Due_to_Ammonia_Treatment_and_Additional_Densification .
- Horáček P, Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, (1998), ISBN 80-7157-347-7
- Hsmap.bnhelp.cz, Dendrologická databáze, (2024), web: <https://hsmap.bnhelp.cz/app/czu/> .
- Chemicalaid.com, ChemicalAid, CH₄N₂O (Močovina) Molární hmotnost, (2024), web:
[https://www.chemicalaid.com/tools/molarmass.php?formula=CH₄N₂O&hl=cs](https://www.chemicalaid.com/tools/molarmass.php?formula=CH4N2O&hl=cs) .
- Is.muni.cz, Amoniak.pdf, (2024), web:
https://is.muni.cz/el/ped/podzim2013/UOPK_1002/Amoniak.pdf .
- Krawczyk, Wojciech, Walczak, Jacek, POTENCJAŁ BIOGENNY OBORNIKA JAKO ŹRÓDŁO EMISJI AMONIAKU I ZAGROŻENIA ŚRODOWISKA, Zotero, (2010), web: https://rnz.izoo.krakow.pl/files/RNZ_2010_37_2_art12.pdf .
- Křivanová M, Štěpán L, Lidové stavitelství Východních Čech, Garamon s.r.o., (2001), str.26-30, ISBN: 80-86472-04-3 .
- Labo.cz, On-line výpočet koncentrací, (2024), web:
<https://www.labo.cz/mft/koncentrace.php?offline=ano> .
- Metaxo.cz, (2024), web: <https://www.metaxo.cz/produkty/skot/stajove-technologie/>
- M.T.A. s.r.o., Technický list – sibiřský modřín, M.T.A. spol. s r.o. Praha 9, (2024), web:
https://www.mta.cz/site/assets/files/1020/tp_sibirsky_modrin.pdf .
- Peuke C, Dreeke–Ehrlich M, Rezeptur Leitlinien für die rationale Herstellung, Deutscher Apotheker Verlag Stuttgart, (2005), str.242–244, ISBN 97837692360263769236025, web: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog/101288987> .

- Proksch E, Harnstoff in der Dermatologie, DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift, (1994), r.119, str.1126–1230, DOI 10.1055/s-2008-1058813, ISSN 0012-0472, 1439-4413, web: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-2008-1058813> .
- Raab W, Biochemie, Pharmakologie und Toxikologie von Harnstoff, Der Hautarzt, Springer Berlin Heidelberg, (1989), r.9, str.23–26, ISBN 978-3-540-51047-5 978-3-642-83754-8, DOI: 10.1007/978-3-642-83754-8_3, web: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-83754-8_3 .
- Randall et. Al., Ammonia toxicity, tolerance and excretion, Nitrogen Excretion, Fish Physiology, Academic Press, (2001), r.20, DOI: 10.1016/S1546-5098(01)20005-3, web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1546509801200053> .
- Shaw, William H. R, Bordeaux, John J, The Decomposition of Urea in Aqueous Media, Journal of the American Chemical Society, Semantic Scholar, (1955), r.77, č.18, str.4729-4733, DOI: 10.1021/ja01623a011, ISSN: 0002-7863, 1520-5126, web: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja01623a011> , web: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Decomposition-of-Urea-in-Aqueous-Media-Shaw-Bordeaux/e5570881938b704d9eb88ca150de62c22ebdced6>
- Sklenář Z, Do topických polotuhých základů, Farmaceutická technologie, Praktické lékárenství, (2007), r.4, str.177-180, web: <https://farmaciepropraxi.cz/pdfs/lek/2007/04/07.pdf>
- Slávik M, Bažant V, Dřevařská dendrologie I. Dřeviny nahosemenné-Gymnospermophytae, Česká zemědělská univerzita v Praze, (2016), ISBN 978-80-213-2622-4 .
- Sovják, Jebavý, Základy pohody zvířat, Česká zemědělská univerzita v Praze, (2014), ISBN 978-80-213-2519-7, EAN 9788021325197 .
- Sýkora J, Zemědělské stavby-základy navrhování, Grada Publishing a.s, (2014), str.24-25, ISBN 978-80-247-5273-0
- Vebr, Vít, Amoniak, (2024), web: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/amoniak-cpavek> .
- Wohlrab W, Einführung Neurodermatitis und Harnstoff, Der Hautarzt-Zeitschrift Fur Dermatologie Venerologie und Verwandte Gebiete, (1992), r.43, doplň.11, str.1–4, ISSN 0017-8470 .
- Wolf G, Süverkrüp R, Pharmazie in unserer Zeit, Rezepturen Probleme erkennen, Lösen, Vermeiden, Stuttgart: Deutscher Apotheker Verlag Stuttgart, (2002). 192 s.
- Zeidler A, Borůvka V, Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin-podklady pro cvičení, Česká zemědělská univerzita v Praze, (2016), ISBN 978-80-213-2674-3 .
- Zepo-belohrad.cz, (2024), web: <http://www.zepo-belohrad.cz/o-firme>

8.1 Normy

ČSN 49 0115, Zjišťování meze pevnosti ve statickém ohybu,

ČSN 49 0116, Metoda zjišťování modulu pružnosti při statickém ohybu,

ČSN 49 0108, Zjišťování hustoty,

ČSN 49 0103, Zjišťování vlhkosti při fyzikálních a mechanických zkouškách,

Vyhláška č.268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů,

Vyhláška č.191/2002 Sb. o technických požadavcích na stavby pro zemědělství,

Vyhláška č.208/2004 Sb. o minimálních standardech pro ochranu hospodářských zvířat,

Vyhláška č.21/2000 Sb. m.s. a zároveň předpis Rady Evropy pro chov zvířat, Evropská dohoda o ochraně zvířat chovaných pro hospodářské účely

9 Samostatné přílohy

9.1 Příloha 1

Fao.org (2024) tvrdí, že takto vypadá chemické složení moči a hnoje zvířat.

| | Sušina, jako % čerstvého hnoje | Sušina (%) | Organický materiál (%) | Celkový dusík (%) | Celkový fosfor (%) | Celkový draslík (%) | Biologická spotřeba kyslíku za 5 dní | Chemická spotřeba kyslíku | Zdroj |
|----------------|-----------------------------------|------------|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---|------------------------------|-------|
| Mléčný skot | 12,7 | 100,0 | 82,5 | 3,9 | 0,7 | 2,6 | 16,5 | 88,0 | 1 |
| Hovězí dobytek | 11,6 | 100,0 | 85,0 | 4,9 | 1,6 | 3,6 | 23,0 | 95,0 | 1 |
| Vůl | 25,0 | 100,0 | 85,0 | 4,5 | 0,7 | 3,2 | 9,0 | 11,8 | 1 |
| Prase | 9,2 | 100,0 | 80,0 | 7,5 | 2,5 | 4,9 | 33,0 | 95,0 | 1 |
| Kuřecí vrstvy | 25,2 | 100,0 | 70,0 | 5,4 | 2,1 | 2,3 | 27,0 | 90,0 | 1 |
| Kuře brojler | 25,2 | 100,0 | 70,0 | 6,8 | 1,5 | 2,1 | – | – | 1 |
| Kůň | 20,9 | 100,0 | 80,0 | 2,9 | 0,5 | 1,8 | – | – | 1 |
| Hněj dojnic | 15,0 | 15,0 | 11,4 | 0,36 | 0,3 | 0,2 | – | – | 2 |
| Kravský hnůj | 10–15 | 10–15 | 14,6 | 0,30–0,45 | 0,15–0,25 | 0,05–0,15 | – | – | 2 |
| Prasečí hnůj | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 0,50–0,60 | 0,45–0,60 | 0,35–0,50 | – | – | 2 |
| Kravská moč | 5–7 | 5–7 | 2,3 | 0,60–1,20 | stopa | 1,30–1,40 | – | – | 2 |
| Moč prasat | 7,0 | 7,0 | 2,5 | 0,30–0,50 | 0,07–0,15 | 0,20–0,70 | – | – | 2 |

Tab. 1 chemické složení hnoje a moče chovaných hospodářských zvířat – tabulka vzhledově upravena v programu Excel, data přepokopována, zdroj 1 - Miner and Smith (1975), zdroj 2 - NACA (1989) = zdroj: Carp T3-1 = https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/affris/docs/NewCommonCarp/carpT3-1.pdf

9.2 Příloha 2

| Proměnná | Popisná statistika rozměrové změny | | | | | | | |
|------------------------|------------------------------------|--------|--------|-----------|-----------|-------|-------|----------|
| | platných N | Průměr | Medián | Minimální | Maximální | Dolní | Horní | sm.odch. |
| Modřín-močovina-Ax [%] | 19 | 0,21 | 0,29 | -0,35 | 0,80 | -0,19 | 0,51 | 0,37 |
| Modřín-ko.mrva-Ax [%] | 21 | 0,66 | 0,64 | 0,13 | 1,26 | 0,51 | 0,80 | 0,28 |
| Modřín-bez-Ax [%] | 20 | 0,72 | 0,79 | -0,09 | 1,41 | 0,40 | 1,04 | 0,40 |
| Modřín-močovina-Ra [%] | 19 | 1,06 | 1,10 | 0,40 | 2,07 | 0,79 | 1,26 | 0,41 |
| Modřín-ko.mrva-Ra [%] | 21 | 6,36 | 6,11 | 3,16 | 9,33 | 5,58 | 7,70 | 1,72 |
| Modřín-bez-Ra [%] | 20 | 5,55 | 5,21 | 3,09 | 10,05 | 3,86 | 7,23 | 2,11 |
| Modřín-močovina-Ta [%] | 19 | 2,18 | 2,26 | 1,04 | 3,68 | 1,68 | 2,68 | 0,64 |
| Modřín-ko.mrva-Ta [%] | 21 | 8,88 | 9,14 | 5,21 | 12,30 | 6,88 | 10,53 | 2,22 |
| Modřín-bez-Ta [%] | 20 | 8,71 | 8,29 | 4,52 | 13,81 | 6,59 | 10,97 | 2,69 |
| Akát-močovina-Ax [%] | 20 | 0,20 | 0,10 | -0,16 | 0,87 | -0,05 | 0,42 | 0,30 |
| Akát-ko.mrva-Ax [%] | 20 | 0,37 | 0,35 | -0,73 | 0,98 | 0,14 | 0,73 | 0,41 |
| Akát-bez-Ax [%] | 20 | 0,65 | 0,61 | -0,16 | 1,59 | 0,45 | 0,78 | 0,39 |
| Akát-močovina-Ra [%] | 20 | 1,78 | 1,65 | 0,20 | 6,60 | 0,72 | 2,02 | 1,48 |
| Akát-ko.mrva-Ra [%] | 20 | 6,28 | 6,32 | 4,47 | 7,85 | 5,48 | 7,19 | 1,01 |
| Akát-bez-Ra [%] | 20 | 5,88 | 5,58 | 4,00 | 10,84 | 5,10 | 6,30 | 1,47 |
| Akát-močovina-Ta [%] | 20 | 3,05 | 2,37 | 0,50 | 9,14 | 1,54 | 4,00 | 2,11 |
| Akát-ko.mrva-Ta [%] | 20 | 8,06 | 7,69 | 6,04 | 10,03 | 6,89 | 9,34 | 1,32 |
| Akát-bez-Ta [%] | 20 | 6,13 | 6,23 | 4,43 | 8,41 | 5,28 | 6,96 | 1,15 |
| Dub-močovina-Ax [%] | 20 | -0,05 | -0,08 | -0,44 | 0,26 | -0,17 | 0,13 | 0,19 |
| Dub-ko.mrva-Ax [%] | 20 | 0,57 | 0,53 | -0,19 | 1,25 | 0,35 | 0,83 | 0,34 |
| Dub-bez-Ax [%] | 20 | 0,62 | 0,67 | -0,06 | 1,19 | 0,40 | 0,85 | 0,35 |
| Dub-močovina-Ra [%] | 20 | 1,80 | 1,43 | -0,24 | 5,64 | 0,58 | 2,00 | 1,72 |
| Dub-ko.mrva-Ra [%] | 20 | 6,68 | 6,66 | 4,54 | 8,25 | 6,41 | 7,27 | 0,90 |
| Dub-bez-Ra [%] | 20 | 5,76 | 5,55 | 4,52 | 7,38 | 4,94 | 6,36 | 0,90 |
| Dub-močovina-Ta [%] | 20 | 4,23 | 3,81 | 1,25 | 8,82 | 2,86 | 5,61 | 1,84 |
| Dub-ko.mrva-Ta [%] | 20 | 9,11 | 9,07 | 6,98 | 11,89 | 8,39 | 9,90 | 1,36 |
| Dub-bez-Ta [%] | 20 | 8,57 | 8,81 | 6,46 | 10,20 | 7,83 | 9,49 | 1,10 |

Tab. bobtnání dřevin-rozměrové změny [%]