



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH A VÝROBA LITINOVÉ BOČNICE LAVIČKY

DESIGN AND MANUFACTURE OF CAST IRON BENCH SIDEWALLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matěj Doležal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Jelínek

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Matěj Doležal**
Studijní program: Základy strojírenského inženýrství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Radim Jelínek**
Akademický rok: 2024/25

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

Návrh a výroba litinové bočnice lavičky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Lavičky patří k základnímu vybavení veřejných prostranství. Bočnice laviček jsou velmi často vyráběny jako odlitky a to převážně z litiny. V poslední době jsou alternativou bočnice vyrobené ze slitin hliníku. Přesto, že lze nalézt nepřeberné množství konstrukcí a designu laviček, je zjevné, že tato oblast výroby není zdaleka vyčerpána.

Cíle bakalářské práce:

V rešeršní části vytvořit ucelený přehled výroby bočnic laviček a to nejen z pohledu historického, ale i z hlediska současných trendů včetně používaných technologií a materiálů. V praktické části pak využít získaných znalostí pro návrh bočnice lavičky, výrobu modelu a odlitku.

Seznam doporučené literatury:

CAMPBELL, John. Complete casting handbook: metal casting processes, metallurgy, techniques and design. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2011. ISBN 978-1-85617-809-9.

SVOBODA, Pavel a BRANDEJS, Jan. Základy konstruování. Vydání deváté, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2022. ISBN 978-80-7623-089-7.

BEELEY, P.R. Foundry technology. 2nd ed. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001, x, 719 s. :il.,
čb. fot.; 25 cm. ISBN 0-7506-4567-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a výrobou litinové bočnice lavičky s cílem optimalizovat její konstrukční řešení z hlediska pevnosti, výrobních nákladů a estetiky. K řešení byla provedena analýza materiálů a technologií lití, návrh v CAD softwaru a následná výroba prototypu. Proces zahrnoval přípravu modelového zařízení, lití a finální úpravy odlitku. Výsledky práce přispívají k rozvoji výroby litinových prvků městského mobiliáře a mohou být využity při optimalizaci podobných produktů s důrazem na efektivitu výroby a mechanické vlastnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Litinová bočnice, Městský mobiliář, Slévárenské technologie, Konstrukční optimalizace, výroba

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the design and production of a cast iron bench sidewall, aiming to optimize its structural design in terms of strength, manufacturing costs, and aesthetics. The approach included an analysis of materials and casting technologies, CAD-based design, and the subsequent fabrication of a prototype. The process involved the preparation of model equipment, casting, and final finishing of the component. The results contribute to the development of cast iron urban furniture elements and can support the optimization of similar products with an emphasis on production efficiency and mechanical properties.

KEYWORDS

Cast iron side walls, Urban furniture, Foundry technology, Structural optimization, Manufacturing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOLEŽAL, Matěj. *Návrh a výroba litinové bočnice lavičky*. Online, bakalářská práce. Ing. Radim JELÍNEK (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165979>. [cit. 2025-03-13].

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Radimu Jelínkovi za jeho cenné rady a odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce. Velké poděkování patří také mé rodině za jejich podporu, trpělivost a motivaci během celého studia.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Radima Jelínka. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	Historický vývoj výroby bočnic laviček	14
2.1.1	Vývoj v českých zemích	14
2.1.2	Vývoj ve světě	16
2.2	Rešerše nabídky laviček	18
2.2.1	Česká republika	18
2.2.2	Svět	21
2.3	Analýza technologií	23
2.3.1	Metalurgie litiny	23
2.3.2	Druhy litin	23
2.3.3	Tavení litin	24
2.3.4	Odlévání	25
2.4	Povrchové úpravy	29
2.4.1	Chemické úpravy	29
2.4.2	Mechanické úpravy	30
2.4.3	Povlaky	31
2.4.4	Impregnace	31
2.4.5	Poréznost	31
2.5	Ergonomie laviček	32
2.5.1	Základní principy ergonomie laviček	32
2.5.2	Specifické požadavky na ergonomii litinových laviček	32
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	33
3.1	Analýza problému	33
3.2	Cíl práce	33
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	34
4.1	Koncept 1	34
4.2	Koncept 2 a 3	35

5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	36
5.1	Výběr konceptu	36
5.2	Modelování Autodesk Inventor	36
5.3	3D Tisk	38
5.4	Výroba Forem	38
5.5	Odformování a očištění	40
6	DISKUZE	41
7	ZÁVĚR	42
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
9	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	46

1 ÚVOD

Městský mobiliář je důležitou součástí veřejného prostoru a výrazně ovlivňuje jeho estetiku, funkčnost i celkový komfort uživatelů. Jedním z klíčových prvků tohoto mobiliáře jsou lavičky, které slouží k odpočinku, relaxaci a setkávání lidí v parcích, na náměstích nebo jiných veřejných prostranstvích. Při jejich návrhu je třeba zohlednit nejen ergonomii a design, ale také materiálovou a konstrukční stránku, která má zásadní vliv na jejich životnost, údržbu a odolnost vůči vnějším vlivům. Dobře navržený městský mobiliář by měl splňovat nejen estetická kritéria, ale také funkční a ekonomické požadavky, které zajistí jeho dlouhou životnost a minimální náklady na údržbu.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh a výrobu litinové bočnice lavičky, která tvoří jeden z klíčových konstrukčních prvků městského mobiliáře. Litina je tradiční materiál, který je v této oblasti využíván pro svou vysokou pevnost, odolnost proti mechanickému opotřebení a povětrnostním podmínkám, ale také díky svému specifickému estetickému vzhledu. V posledních letech se díky moderním slévárenským technologiím otevírají nové možnosti optimalizace litinových prvků, které umožňují snižování hmotnosti, zlepšení mechanických vlastností a efektivnější výrobu. Cílem této práce je navrhnout a vyrobit litinovou bočnici lavičky, která bude splňovat požadavky na pevnost, stabilitu a životnost, a zároveň bude vizuálně atraktivní a ekonomicky efektivní.

V rámci práce je provedena analýza dostupných materiálů a slévárenských technologií s cílem vybrat optimální postup výroby. Následně je navržena konstrukce bočnice v CAD softwaru, vytvořen model a připraven technologický postup pro výrobu prototypu. Proces zahrnuje nejen návrh a lití, ale i finální úpravy a posouzení kvality vyrobeného odlitku. Výsledky této práce mohou být využity nejen při návrhu a výrobě městského mobiliáře, ale také při vývoji dalších litinových konstrukčních prvků, které vyžadují vysokou pevnost, odolnost a estetickou hodnotu.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Historický vývoj výroby bočnic laviček

Lavičky jsou dlouhodobě nedílnou součástí veřejného prostoru a jejich vývoj je úzce spjat s proměnami urbanismu, architektury a dostupnými materiály. Od jednoduchých dřevěných sedáků ve středověkých chrámech až po ergonomické modulární systémy dnešních měst prošly lavičky řadou technologických i estetických proměn. Význam laviček sahá daleko za jejich základní funkci sezení – často reflektují sociální a ekonomické podmínky doby, v níž byly vyráběny [1; 1; 2].

2.1.1 Vývoj v českých zemích

Vývoj laviček v českých zemích kopíroval obecné evropské trendy, ale měl i své specifické rysy, které souvisely s historickými, ekonomickými a společenskými změnami. Od prvních jednoduchých dřevěných lavic v kostelích až po moderní multifunkční lavičky dnešních měst prošel mobiliář českých veřejných prostranství řadou významných proměn [1].

Středověk – církevní lavice a omezené veřejné sezení

Ve středověkých městech českých zemí (přibližně 12.–15. století) nebylo veřejné sezení běžnou součástí urbanistického plánování. Veřejné prostory byly především místem obchodních aktivit, trhů a slavností, kde lavičky nebyly považovány za nezbytné. Přesto se lavice objevovaly v sakrálních objektech – v kostelích a kláštorech. První lavice byly jednoduché dřevěné konstrukce bez opěradel, určené pro věřící během bohoslužeb [1].

Na hradech a v měšťanských domech byly lavice často součástí vestavěného nábytku, přičemž jejich masivní konstrukce odpovídala tehdejšímu dostupným materiálům a technologickým možnostem. Veřejné lavice se začaly častěji objevovat v podloubích a dvorech městských radnic, kde sloužily k odpočinku měšťanů a obchodníků [2].

Renesance a baroko – estetizace veřejných prostranství

S příchodem renesance (15.–17. století) došlo k většímu důrazu na městský urbanismus a estetiku veřejného prostoru. Šlechtické zahrady a městské parky začaly získávat pravidelnou strukturu, v níž se lavičky staly přirozeným doplňkem. Kamenné lavičky se objevovaly především v zahradách a na nádvořích zámků, například v Kroměříži nebo v zahradách Pražského hradu [1].

V období baroka (17.–18. století) se česká města inspirovala především francouzským a rakouským stylem parkové architektury. Lavičky byly často součástí rozlehlých sadů a promenád, například v pražské Valdštejnské zahradě nebo v zahradách zámků v Lednici a Valticích. V této době se rozšířily i první veřejné lavičky v městských parcích a náměstích, kde měly často podobu masivních kamenných sedáků zasazených do architektonického celku [2].

19. století – průmyslová revoluce a litinové lavičky

Průmyslová revoluce (18.–19. století) znamenala zásadní změnu v designu a výrobě laviček. Díky technologickým inovacím v oblasti litin se lavičky staly dostupnějšími a začaly se masově instalovat ve veřejných prostranstvích. České země, tehdy součást Rakouska-Uherska, následovaly evropské trendy, přičemž litinové lavičky s dřevěnými latěmi se objevily v parcích, na promenádách a u nádraží [2].

V Praze se litinové lavičky rozšířily zejména v období výstavby městských sadů, například ve Stromovce, na Petříně nebo v Karlíně. Významným výrobcem litinových prvků pro lavičky byla Škodovka v Plzni a železárny v Blansku, které produkovaly litinové konstrukce nejen pro lavičky, ale i pro další prvky městského mobiliáře, jako jsou lampy či zábradlí [1].

První republika (1918–1938) – funkcionalismus a sjednocený design

Po vzniku Československa v roce 1918 se kladl větší důraz na jednotný design městského mobiliáře. Funkcionalismus, který ovládl architekturu meziválečného období, se projevil i ve výrobě laviček. Typické byly jednoduché, účelné konstrukce z kovu a dřeva, které se staly standardem v městských parcích a na náměstích [1].

V této době začaly vznikat první urbanistické plány, které zahrnovaly koncepční návrhy veřejného prostoru včetně laviček. Například v Baťově Zlíně byl mobiliář pečlivě plánován tak, aby odpovídal moderním zásadám urbanismu [2].

Socialismus (1948–1989) – masová výroba a unifikace

Po druhé světové válce a nástupu socialistického režimu došlo k unifikaci městského mobiliáře. Výroba laviček byla centralizována a podřízena státním normám, což vedlo k masové produkci jednoduchých a funkčních modelů. Nejčastěji se používaly lavičky s betonovými bočnicemi a dřevěnými latěmi, které byly odolné vůči vandalismu a snadno se vyráběly [1].

Veřejný prostor byl v tomto období ovlivněn sídlištní výstavbou, kde se lavičky stávaly důležitým prvkem mezi panelovými domy. Často byly umístovány do vnitrobloků nebo k dětským hřištím, kde sloužily jako místo pro setkávání obyvatel [2].

Po roce 1989 – diverzifikace materiálů a návrat estetiky

Sametová revoluce v roce 1989 přinesla změny i v oblasti městského mobiliáře. Do veřejného prostoru se začaly vracet lavičky inspirované historickými vzory, ale zároveň se rozšířila nabídka moderních designových řešení. Významným trendem se stala kombinace kovu a dřeva, přičemž důraz byl kladen na ergonomii a estetiku [1].

S nástupem 21. století se začaly prosazovat nové materiály, jako jsou recyklované plasty, kompozitní dřevo nebo nerezová ocel. Moderní lavičky jsou často navrhovány tak, aby byly odolné vůči vandalismu a povětrnostním vlivům, ale zároveň poskytovaly maximální komfort uživatelům [2].

Dnes se česká města snaží využívat lavičky nejen jako místo k sezení, ale také jako prvek zvyšující kvalitu veřejného prostoru. Například chytré lavičky s integrovanými solárními panely a USB nabíječkami se objevují v Praze, Brně i dalších větších městech [1].

2.1.2 Vývoj ve světě

Antika – první veřejné lavičky

První doložené lavičky se objevily již ve starověkém Řecku a Římě, kde byly běžnou součástí veřejných shromaždišť, divadel a lázní. Řekové používali kamenné lavice v amfiteátrech, zatímco Římané rozšířili veřejné sezení o městské fórum, kde lavičky umožňovaly občanům sledovat politická shromáždění nebo se účastnit veřejného života. Veřejné lavičky byly vytesány z mramoru nebo kamene a často zdobeny reliéfy a nápisy [1].

Středověk a renesance – omezené využití a první parkové lavičky

Ve středověké Evropě (5.–15. století) nebyly lavičky běžnou součástí městských prostranství. Veřejné prostory sloužily především obchodním a náboženským účelům a lidé se často zdržovali ve stoje. Výjimkou byly církevní lavice, které se objevovaly v kláštorech a kostelech. Městské hradební zdi či kašny někdy sloužily jako provizorní místa k sezení, ale samostatně stojící lavičky v dnešním smyslu byly vzácností [2].

Změna nastala v období renesance (15.–17. století), kdy se v Itálii, Francii a Anglii začaly objevovat první plánované zahrady s lavičkami. Šlechtické paláce a zámky doplňovaly symetricky rozmístěné kamenné nebo dřevěné lavice, které měly estetickou i praktickou funkci. Veřejná prostranství však tuto změnu přejímala jen pomalu, a lavičky tak zůstávaly spíše výsadou soukromých zahrad [1].

18. a 19. století – průmyslová revoluce a veřejný mobiliář

Teprve 18. století přineslo výraznější změny ve vnímání veřejného prostoru. S osvícenstvím přišla snaha o zlepšení městského prostředí a pohodlí obyvatel. Veřejné parky, které se v této době začaly rozšiřovat po Evropě, byly systematicky doplňovány lavičkami. Mezi první města s organizovaným parkovým mobiliářem patřily Londýn, Paříž a Vídeň, kde se lavičky objevovaly podél promenád a v městských zahradách [2].

Skutečný zlom však přinesla průmyslová revoluce v 19. století. Díky technologickému pokroku bylo možné vyrábět lavičky ve větším měřítku a za nižší náklady. Nejvýznamnější inovací bylo zavedení litinových laviček, které kombinovaly odolnost s dekorativním designem. Tyto lavičky se staly symbolem veřejného mobiliáře v evropských městech, například v Paříži nebo v britských parcích, kde byly standardizovány podle návrhů městských architektů [1].

20. století – ergonomie, funkčnost a masová výroba

Na počátku 20. století se výroba laviček diverzifikovala a přizpůsobovala novým trendům v architektuře. Modernismus přinesl jednoduché kovové rámy a dřevěné sedáky, které byly nejen esteticky střídme, ale také snadno vyrobitelné a udržovatelné.

Během 50. a 60. let se v západních zemích začal prosazovat ergonomický přístup k návrhu laviček. Galey Cranz (1998) ve své studii zdůrazňuje, že tento trend souvisel s rostoucím povědomím o správném držení těla a dlouhodobém komfortu při sezení. V USA a Skandinávii začali designéři vytvářet lavičky s ohledem na přirozenou polohu páteře, přičemž tvar opěradel a sklon sedáků byly optimalizovány pro co největší pohodlí uživatelů [3].

2.2 Rešerše nabídky laviček

2.2.1 Česká republika

Profiba.cz



a)



b)

Obr. 2-1 a) Litinová lavička Tupron [4] b) Litinová lavička Histori [5]

Mmcité



a)



b)



c)



d)

Obr. 2-2 a) Lavička Constructa [6] b) Lavička Portiqa [6] c) Lavička landscape [6] d) Lavička Satellite [6]

Kovo-Art Poděbrady s.r.o.



a)



b)

Obr. 2-3 a) Litinová lavička start [7] b) Litinová lavička bora [8]

URBAMO s.r.o.



a)



b)



c)



d)

Obr. 2-4 a) Lavička Minsk [9] b) Lavička Citizen [9] c) Lavička Benito delta [9] d) Lavička Benito [9]



Obr. 2-5 a) Litinová lavice Tom [10] b) Litinová lavička Park [11]

Profiba.cz, mmcité, Kovo-Art Poděbrady a Urbamo s.r.o. patří mezi významné české výrobce městského mobiliáře, každý s vlastním přístupem k designu a materiálům.

Profiba.cz se zaměřuje na tradiční lavičky z šedé litiny a masivního dřeva, které jsou odolné a vhodné do historických i moderních prostor. Kovové prvky chrání práškové lakování nebo žárové zinkování.

Mmcité patří ke špičce v designu veřejného mobiliáře, využívá moderní materiály jako hliníkové slitiny, nerezovou ocel či kompozity. Jejich produkty se mohou měřit s globální konkurencí, avšak vyšší kvalita se odráží i v ceně, která bývá 20 000–50 000 Kč za lavičku.

Kovo-Art Poděbrady spojuje ruční výrobu s klasickým designem. Lavičky s litinovými bočnicemi a dřevěnými sedáky jsou ceněné pro dlouhou životnost a estetickou hodnotu.

Urbamo s.r.o. se soustředí na inovace, chytrá řešení a ekologické materiály. Jejich lavičky často obsahují solární panely nebo nabíjecí stanice a představují moderní variantu městského mobiliáře v cenové relaci 10 000–20 000 Kč.

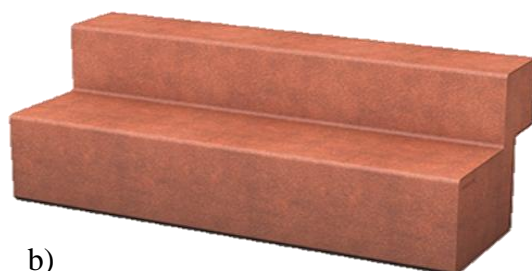
Zatímco Profiba.cz a Kovo-Art Poděbrady ctí tradici, Mmcité a Urbamo posouvají český design směrem k futuristickým trendům a technologickým inovacím.

2.2.2 Svět

Streetlife - Nizozemsko



a)



b)

Obr. 2-6 a) Drift bench [12] b) Bobby bench [13]

Metalco – Itálie



a)



b)

Obr. 2-7 a) Ametista bench [14] b) Air-port bench [15]

Victor Stanley – USA



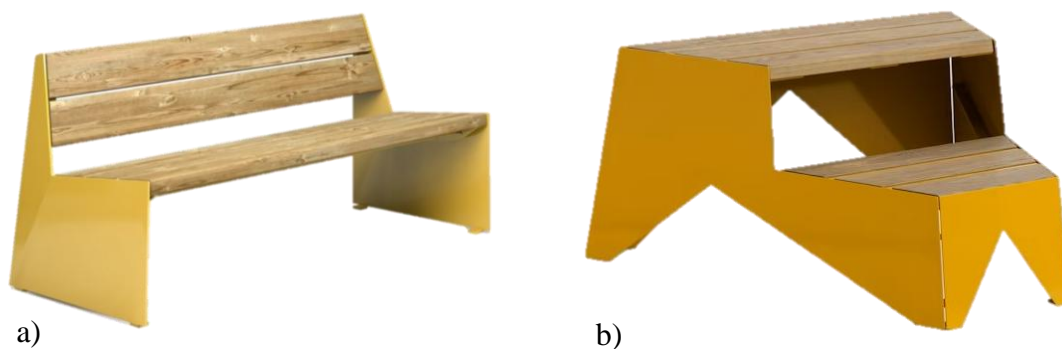
a)



b)

Obr. 2-8 a) Eva bench [16] b) UBCI-90 bench [17]

Vestre – Norsko



Obr. 2-9 a) Bloc bench [18] b) Stoop bench [19]

Streetlife, Metalco, Victor Stanley a Vestra jsou renomované společnosti zabývající se výrobou městského mobiliáře, které kombinují inovativní design s kvalitními materiály a technologiemi.

Streetlife se vyznačuje moderním přístupem k veřejnému prostoru, kde kombinuje kovové prvky s udržitelným dřevem a recyklovanými materiály. Jejich lavičky často využívají nerezovou ocel nebo hliník, který je doplněn o tvrdé tropické dřevo, čímž vznikají elegantní a odolné konstrukce vhodné do urbanistického prostředí.

Metalco je italský výrobce zaměřený na exkluzivní design a pokročilé materiály. Nabízí lavičky a lavice nejen z tradičních litin, ale i z kombinací oceli, betonu či kompozitních materiálů. Klade důraz na modulární systémy a ergonomii.

Victor Stanley, americká společnost s dlouholetou tradicí, se specializuje na odolný městský mobiliář vyráběný z litin a robustní oceli. Charakteristickým znakem jejich laviček je masivní konstrukce s ochranou proti vandalismu a povrchovou úpravou odolnou vůči klimatickým podmínkám. Díky svému designu jsou často instalovány v historických centrech měst nebo parcích.

Vestra, jako inovativní hráč na trhu, využívá pokročilé materiály a technologické prvky, například integrované osvětlení či nabíjecí stanice pro elektronická zařízení. Jejich produkty kombinují moderní kovy, jako je eloxovaný hliník, s recyklovanými plasty a dřevěnými prvky, čímž dosahují nejen vysoké estetické hodnoty, ale i dlouhé životnosti.

Zatímco Streetlife a Metalco se zaměřují na futuristický design a inovativní materiály, Victor Stanley si udržuje tradiční přístup s důrazem na masivnost a odolnost. Produkty Vestry pak reflektují moderní potřeby chytrých měst. Prémiové zaměření těchto výrobců se promítá i do cen, které se pohybují v rozmezí 15 000 – 40 000 Kč za lavičku.

2.3 Analýza technologií

Metalurgie je klíčovým odvětvím materiálového inženýrství, které se zabývá výrobou, zpracováním a vlastnostmi kovových materiálů. V kontextu výroby litinové bočnice lavičky je zásadní pochopení metalurgických procesů, zejména tavení, odlévání a následného zpracování litiny. Litina patří mezi nejdůležitější technické slitiny železa a uhlíku a díky svým specifickým vlastnostem, jako je vysoká pevnost, odolnost vůči opotřebení a dobrá obrobitelnost, nachází široké uplatnění ve strojírenství a stavebnictví.

2.3.1 Metalurgie litin

Metalurgie litiny zahrnuje procesy výroby, úpravy a zpracování tohoto materiálu s cílem optimalizovat jeho mechanické a technologické vlastnosti. Litina je slitina železa s uhlíkem, přičemž obsah uhlíku se obvykle pohybuje mezi 2,0–4,5 %. Kromě uhlíku obsahuje i další legující prvky, jako jsou křemík, mangan, síra a fosfor, které ovlivňují její vlastnosti [20].

Hlavní přednosti litiny spočívají v její dobré tekutosti při odlévání, nízké výrobní ceně a vynikající odolnosti proti korozi. Mezi nevýhody patří její křehkost a omezená svařitelnost. Proto se různé druhy litin liší svým složením a technologickými vlastnostmi tak, aby odpovídaly konkrétním požadavkům na použití [21].

2.3.2 Druhy litin

Litina se dělí do několika kategorií podle svého složení, struktury a mechanických vlastností. Mezi hlavní typy patří:

- Litina s lupínkovým grafitem

Litina s lupínkovým grafitem obsahuje uhlík ve formě grafitových vloček, což jí dodává charakteristickou šedou barvu lomu. Tento druh litiny se vyznačuje dobrou obrobitelností, vysokou tlumicí schopností vibrací, nízkou pevností v tahu (150 – 350MPa), rázovou houževnatostí a odolností vůči opotřebení, což ji činí vhodnou pro konstrukční díly, jako jsou rámy strojů, brzdové kotouče či městský mobiliář včetně laviček [22].

- Litina s kuličkovým grafitem

Litina s kuličkovým grafitem obsahuje grafit ve formě kulovitých tvarů, což jí zajišťuje podstatně lepší mechanické vlastnosti než šedá litina. Oproti šedé litině je houževnatější, méně křehká a vykazuje vyšší pevnost v tahu (400 – 800MPa). Používá se v automobilovém průmyslu, na tlakové potrubí nebo pro odlitky vystavené mechanickému zatížení [20]

- Bílá litina

Bílá litina má karbidickou strukturu bez volného grafitu, což ji činí velmi tvrdou, ale křehkou. Vyznačuje se vynikající odolností proti abrazivnímu opotřebení, a proto se používá například na části čerpadel, mlýnská tělesa nebo další díly vystavené silnému opotřebení [21].

- Temperovaná litina

Tento druh litiny vzniká žháním bílé litiny, což vede k částečné přeměně tvrdých karbidů na grafit. Výsledkem je materiál, který má lepší mechanické vlastnosti než bílá litina, ale zároveň si zachovává určitou houževnatost. Temperovaná litina se často používá v automobilovém průmyslu, zejména pro výrobu klikových hřídelí, ozubených kol nebo armatur [22].

2.3.3 Tavení litin

Tavení litin probíhá při teplotách mezi 1150–1550°C, v závislosti na typu litiny a jejím chemickém složení.

- Kupolové pece

Jedná se o nejstarší a rozšířenou technologii tavení litin. Kupolová pec je svislá šachtová pec, ve které se kov taví v proudu horkého vzduchu. Dobré pro výrobu litiny s lupínkovým grafitem[20].

V současnosti se od kupulových pecí ve slévárenské praxi postupně ustupuje, a to především kvůli jejich vysoké energetické náročnosti, emisní zátěži a omezené možnosti regulace chemického složení taveniny. Moderní slévárny proto stále častěji přechází na indukční pece, nebo elektrické pece.

- Indukční pece

Indukční pece fungují na principu elektromagnetické indukce, což umožňuje rychlé, přesné a čisté tavení litin. Tento proces je ekologičtější než tavení v kupulové peci, jelikož nevznikají škodlivé emise spalin. Indukční pece se využívají zejména v moderních slévárnách, kde je kladen důraz na vysokou kvalitu odlitků a přesné řízení chemického složení taveniny. Nejčastější použití na výrobu litiny s kuličkovým grafitem, legovaných nebo speciálních litin [22].

- Elektrické obloukové pece

Obloukové pece využívají elektrický oblouk k roztavení kovu. Tento způsob je běžnější pro výrobu oceli než litin, ale v některých specializovaných provozech se používá i k tavení vysoce kvalitní litiny s přesně kontrolovaným složením [21].

Chemické složení taveniny je pečlivě kontrolováno obvykle pomocí spektrální analýzy, aby bylo dosaženo optimálních mechanických vlastností finálního odlitku [20].

- Plynové rotační pece

Plynové rotační pece jsou jedním z moderních tavicích zařízení, vhodným pro tavení všech druhů litin a dalších druhů neželezných slitin. výhodou jsou nižší investiční náklady, vysoká efektivita, umožňující následně tavit různé litiny a volit teploty tavení a rovněž nízké provozní náklady. U pecí s kyslíkovými hořáky vzniká menší množství spalin, které je možné účinně odvádět. Plynové rotační pece jsou proto tavicím zařízením, které obvykle dobře splňuje ekologické předpisy. V malých a středních slévárnách jsou používány hlavně kvůli jejich dobrému tavicímu výkonu.

2.3.4 Odlévání

Odlévání je jednou z nejstarších technologií zpracování kovů, která se používá již tisíce let. Umožňuje výrobu složitých a rozměrově přesných součástí nalitím roztaveného kovu do formy, kde dochází k jeho ztuhnutí. Tento proces je zvláště vhodný pro výrobu odlitků s komplikovanou geometrií, kterou by bylo obtížné dosáhnout jinými metodami, jako je kovoobrábění nebo kování.

Litina, jako odlévaný materiál, se vyznačuje dobrou tekutostí při tavení a vysokou zabíhavostí ve formě, což umožňuje výrobu precizních odlitků s jemnými detaily. Odlévání lze dělit podle různých kritérií. Základní rozdělení je na odlévání do netrvalých forem, které se po odlití zničí (např. pískové, skořepinové, lití na vytavitelný model), a odlévání do trvalých forem, které lze použít opakovaně (např. tlakové, gravitační nebo odstředivé lití). Další dělení se zakládá na způsobu plnění formy nebo typu použitého modelu. V posledních desetiletích se do popředí dostaly také moderní aditivní technologie, mezi nimiž rapid prototyping představuje revoluci v oblasti výroby forem a modelů pro odlitky [20; 22].

Trvalé formy

Trvalé formy jsou nedílnou součástí slévárenských procesů, zejména v sériové a hromadné výrobě. Na rozdíl od jednorázových forem, které se po každém odlitku zničí, se trvalé formy používají opakovaně, což umožňuje zvyšovat produktivitu a snižovat výrobní náklady. Tyto

formy jsou obvykle vyráběny z kovových materiálů, nejčastěji z litin, oceli nebo speciálních slitin, které odolávají vysokým teplotám a tepelným cyklům [23].

Hlavním přínosem trvalých forem je možnost dosažení vyšší přesnosti odlitků a lepšího povrchu, protože kovová forma minimalizuje deformace a poréznost, které jsou běžné u forem pískových. Další výhodou je kratší výrobní cyklus, protože odlitky tuhnou rychleji díky vyšší tepelné vodivosti kovu oproti písku. Tento faktor je klíčový například v automobilovém a leteckém průmyslu, kde je potřeba produkovat velké množství identických odlitků s minimálními rozměrovými odchylkami [24].

Použití trvalých forem přináší celou řadu výhod, například vyšší přesnost odlitků, lepší kvalitu povrchu a kratší dobu tuhnutí kovu, což je dáno vysokou tepelnou vodivostí kovových forem. Díky těmto vlastnostem jsou vhodné pro výrobu komponentů, kde je kladen důraz na tvarovou přesnost a rychlost výroby, jako například v automobilovém nebo leteckém průmyslu. Nevýhodou však mohou být vyšší pořizovací náklady a technická náročnost při výrobě forem složitějších tvarů.

Trvalé formy se využívají především v technologiích tlakového, gravitačního a odstředivého lití. Tlakové lití se často uplatňuje při výrobě lehkých kovových slitin, například z hliníku nebo zinku. Gravitační lití je naopak časté u litinových nebo ocelových odlitků, kde nejsou potřeba vysoké vstřikovací tlaky.

Výroba trvalých forem

Výroba trvalých forem je technologicky náročný proces, který vyžaduje precizní návrh a volbu vhodného materiálu. Nejprve je třeba provést podrobnou analýzu požadavků na výsledný odlitek, což zahrnuje jeho rozměry, požadovanou pevnost a povrchovou úpravu. Na základě této analýzy je formovací nástroj navržen v CAD softwaru, kde se zohledňují aspekty jako smršťování odlitku, odvzdušnění formy a odvod tepla [23].

Po dokončení návrhu následuje výroba samotné formy, která může probíhat několika způsoby. Nejčastěji se formy obrábějí z polotovarů pomocí CNC frézování nebo elektroerozivního obrábění (EDM). CNC frézování umožňuje vysokou přesnost a efektivitu při výrobě forem s jednodušší geometrií, zatímco EDM je výhodné pro složitější tvary, protože dokáže vytvářet přesné dutiny i v tvrdých materiálech [24].

Po dokončení obrábění následuje tepelná úprava formy, která zvyšuje její odolnost proti opotřebení. To zahrnuje kalení, popouštění nebo nitridaci, což zajišťuje lepší mechanické vlastnosti formy a prodlužuje její životnost. Následně se provádí finální úprava povrchu, například leštění nebo povlakování, aby se minimalizovalo opotřebení a usnadnilo plnění formy a vyjmutí odlitků [25].

Podle typu plnění mohou být formy vybaveny chlazením a systémem pro odvod plynů. Chlazení je důležité zejména u tlakového lití, kde urychluje tuhnutí kovu a zvyšuje produktivitu výroby. Naopak při gravitačním lití je prioritou účinné odvodušnění formy, které pomáhá zabránit vzniku pórů v odlitku. [23].

Po dokončení výroby je forma podrobena testování, při kterém se kontroluje rozměrová přesnost, kvalita povrchu a mechanické vlastnosti. Pokud forma splňuje všechny požadavky, může být nasazena do sériové výroby, kde je pravidelně udržována a kontrolována, aby byla zajištěna její dlouhá životnost a spolehlivost při opakovaném použití [24].

Netrvalé formy

Netrvalé formy jsou klíčovým prvkem ve slévárenské výrobě, zejména při výrobě malých sérií a prototypových odlitků. Na rozdíl od trvalých forem se po každém odlití zničí a pro další odlitek se musí vytvořit nová forma. Nejčastěji se vyrábějí z pískových směsí, sádry nebo keramických materiálů, které umožňují flexibilní přizpůsobení tvaru odlitku bez vysokých nákladů na formovací nástroje [23].

Hlavní výhodou netrvalých forem je jejich schopnost vytvářet složité tvary, včetně detailních struktur a vnitřních dutin, které by byly u trvalých forem obtížně realizovatelné. Tento typ forem umožňuje efektivní výrobu odlitků z široké škály materiálů, včetně slitin s vysokým bodem tavení, jako je titan [24]. Další výhodou je nižší pořizovací cena, což je důležité pro kusovou a malosériovou výrobu.

Nevýhodou netrvalých forem je jejich nižší rozměrová přesnost a drsnější povrch odlitků ve srovnání s trvalými formami. Pískové formy například mohou způsobovat vyšší poréznost odlitků, což ovlivňuje jejich mechanické vlastnosti. Také doba výroby je delší, protože každá forma musí být znovu vytvořena, což snižuje produktivitu sériové výroby [25].

Lití do písku je nejrozšířenější metodou a umožňuje výrobu odlitků všech velikostí a složitostí. Lití na vytavitelný model, známé také jako metoda investment casting, umožňuje vytvářet přesné a složité tvary s lepší povrchovou kvalitou [23].

Výroba netrvalých forem

Výroba netrvalých forem začíná vytvořením modelu odlitku, který může být vyroben ze dřeva, vosku, plastu nebo kovu. Tento model se poté obtiskne do formovací směsi, která následně ztverdne a vytvoří negativní dutinu odlitku. U pískových forem se jako pojivo často používají jíly nebo pryskyřice, které zajišťují soudržnost formy [24].

Lití na vytavitelný model využívá voskové modely, které jsou obaleny keramickou směsí. Po vysušení se vosk odstraní zahřátím a vzniklá keramická forma se vyžihá, což zajistí její

pevnost. Tato technologie umožňuje vyrábět složité a přesné odlitky s minimální potřebou následného opracování [23].

Po odlití kovu do formy dochází k jejímu odstranění, což se provádí mechanicky, tepelně nebo chemicky v závislosti na použitém materiálu formy. Konečné opracování odlitků zahrnuje odstranění přetoků, očištění povrchu a případné tepelné zpracování pro dosažení požadovaných mechanických vlastností [24].

Rapid prototyping

Rapid prototyping hraje klíčovou roli v odlévání kovů, protože umožňuje rychlou výrobu modelů forem a jader, čímž zkracuje čas nutný k vývoji nových odlitků. Mezi hlavní přínosy využití této technologie patří vytváření modelů pro lití na vytavitelný model, výroba pískových forem a jader pomocí 3D tisku, prototypování kovových odlitků a ověřování návrhu a optimalizace odlitků [23; 26].

Použití rapid prototyping umožňuje přímou výrobu voskových nebo polymerových modelů, které se následně využívají pro výrobu keramických forem v procesu investičního lití. Tímto způsobem lze eliminovat potřebu výroby drahých forem pro voskové modely a výrazně zrychlit celý proces. Technologie, jako je Binder Jetting, umožňují tisk pískových forem a jader přímo z digitálních modelů, což eliminuje nutnost tradičního formování a umožňuje výrobu složitých geometrií, které by jinak byly obtížně realizovatelné [25]. Díky rapid prototyping je možné vytvořit funkční prototypy kovových součástí pomocí technologií, jako je přímé laserové sintrování kovů (DMLS) nebo selektivní laserové tavení (SLM). Tyto metody umožňují výrobu přesných kovových dílů bez nutnosti klasických forem a sléváren. RP také usnadňuje rychlé testování návrhů odlitků, včetně analýzy jejich funkčnosti a mechanických vlastností, což snižuje riziko chyb ve výrobním procesu a umožňuje optimalizaci konstrukce před finální výrobou [23; 27].

Mezi hlavní metody rapid prototyping v odlévání patří 3D tisk modelů pro lití na vytavitelný model, přímý tisk pískových forem a technologie Metal Additive Manufacturing, jako jsou SLM a DMLS. Lití na vytavitelný model tradičně vyžaduje výrobu voskových modelů, což může být časově i finančně náročné. Použití 3D tisku umožňuje přímou výrobu modelů z voskových nebo polymerových materiálů, které lze použít při investičním lití bez nutnosti výroby kovových forem [27]. 3D tiskárny pro pískové lití dokážou vytvořit formy a jádra přímo z digitálního modelu bez nutnosti tradičního formování. To umožňuje výrobu složitých odlitků s detailními geometriemi a zlepšuje efektivitu výrobního procesu [25]. Metody selektivního laserového tavení (SLM) a přímého laserového sintrování kovů (DMLS) umožňují přímou výrobu kovových prototypů a malých sérií, čímž se eliminuje nutnost použití slévárenských forem. Tato technologie je ideální pro výrobu složitých kovových součástí s vysokou přesností [26].

Rapid prototyping v odlévání přináší řadu výhod. Výrazně zkracuje čas potřebný pro výrobu modelů a forem, umožňuje vytvářet složité geometrie, kterých by bylo obtížné dosáhnout tradičními metodami, a snižuje náklady na formy, zejména při malých sériích nebo kusové výrobě [23; 24]. Dále umožňuje rychlé testování a optimalizaci návrhů odlitek. Na druhé straně má také nevýhody, mezi něž patří vyšší náklady na materiály a zařízení u některých metod, omezená velikost tisknutelných modelů a forem a odlišné mechanické vlastnosti tištěných modelů oproti tradičním metodám [26].

Tato technologie nachází uplatnění v různých průmyslových odvětvích. V automobilovém průmyslu umožňuje rychlou výrobu forem pro testovací a závodní díly, v leteckém průmyslu se využívá k výrobě lehkých a složitých kovových dílů pro letecké motory a konstrukce [25]. Ve zdravotnictví se RP uplatňuje při lití kovových implantátů na míru a ve slévárenství přispívá k optimalizaci procesů lití a výrobě složitých odlitek s vyšší efektivitou [23; 27].

Díky neustálému vývoji nových technologií se stává nedílnou součástí moderního slévárenství [26]

2.4 Povrchové úpravy

Povrchové úpravy litinových odlitek jsou klíčové pro prodloužení jejich životnosti, zlepšení estetických vlastností a zvýšení odolnosti proti vnějším vlivům, zejména korozi a mechanickému opotřebení. Litinové bočnice laviček jsou obvykle umístěny ve venkovním prostředí, kde jsou vystaveny dešti, slunečnímu záření, mechanickému namáhání a chemickým látkám v ovzduší. Vzhledem k těmto faktorům je nezbytné zvolit vhodnou kombinaci povrchových úprav, které zajistí maximální ochranu [25].

Výběr konkrétní metody závisí na požadavcích na životnost, mechanickou pevnost a vzhled konečného výrobku. Nejčastěji se používá kombinace mechanických a chemických úprav, doplněná o aplikaci ochranných povlaků a impregnací. Každá z těchto metod přispívá k eliminaci vad povrchu, lepší přilnavosti následných nátěrů a celkově vyšší odolnosti litinového materiálu.

2.4.1 Chemické úpravy

Chemické úpravy zahrnují procesy, které mění chemické složení nebo strukturu povrchové vrstvy litinového odlitku. Mezi nejpoužívanější patří fosfátování, nitridace a pasivace. Tyto metody zajišťují vyšší odolnost proti korozi a zlepšují vlastnosti povrchu pro následné povrchové úpravy, například lakování nebo práškové nátěry [23].

- Fosfátování se používá ke zlepšení přilnavosti ochranných nátěrů. Při tomto procesu dochází k tvorbě tenké vrstvy nerozpustných fosforečnanů železa, které chrání povrch proti korozi a zvyšují adhezi barev. Tento postup je běžně využíván ve strojírenství i při výrobě odlitků pro venkovní prvky, jako jsou lavičkové bočnice [24].
- Nitridace zahrnuje difuzi dusíku do povrchových vrstev materiálu, což vede k jejich vytvrzení. Tento proces se často využívá u součástí, které jsou vystaveny mechanickému namáhání, což však u lavičkových bočnic není klíčové, ale může pomoci proti abrazivnímu opotřebení.
- Pasivace kyselinami pomáhá odstranit nežádoucí oxidy a nečistoty z povrchu, čímž se zlepšuje kvalita následných povrchových úprav. Tento proces je obzvláště důležitý u litinových součástí určených pro venkovní použití, kde je nutné zajistit maximální přilnavost ochranných vrstev [25].

2.4.2 Mechanické úpravy

Mechanické úpravy se zaměřují na odstranění povrchových nečistot, okují a nerovností, které vznikají při lití a tunutí materiálu. Nejběžnějšími metodami jsou tryskání, broušení a leštění, přičemž jejich volba závisí na požadovaném finálním vzhledu a drsnosti povrchu.

- Tryskání se provádí pomocí abrazivních materiálů, jako jsou ocelové kuličky (broky), korund a další. Tímto způsobem lze odstranit okuje a další nečistoty z povrchu odlitků. Pro litinové bočnice laviček se nejčastěji používá tryskání ocelovými broky, které nejen čistí, ale také mírně zpevňuje povrch materiálu [25].
- Broušení slouží k dosažení hladšího povrchu a odstranění ostrých hran, které by mohly představovat riziko pro uživatele. Používají se kotoučové brusky nebo pásové brusky s různou hrubostí brusiva.
- Leštění je méně časté, ale může být využito v případě, kdy je požadován esteticky atraktivní povrch s minimální drsností. Tento proces se provádí zejména u designových prvků litinových výrobků.

Mechanické úpravy jsou důležité nejen z hlediska vzhledu, ale také jako příprava pro následné nanášení ochranných povlaků, které lépe přilnou na čistý a homogenní povrch [23].

2.4.3 Povlaky

Povlakování litinových výrobků je klíčové pro ochranu proti korozi a mechanickému poškození. Nejčastěji používané metody zahrnují práškové lakování, žárové zinkování a galvanické zinkování a smaltování.

- Práškové lakování je jednou z nejúčinnějších metod povrchové úpravy litin určené pro venkovní prostředí. Práškové barvy obsahují UV stabilizátory, které chrání povrch proti degradaci slunečním zářením. Tento proces je ekologický, protože nevyužívá rozpouštědla [24].
- Žárové zinkování je proces, při kterém se kovové předměty ponořují do taveniny zinku při vysokých teplotách, obvykle kolem 450°C. Tato metoda vytváří velmi silnou vazbu mezi zinkem a kovem, což vede k vytvoření odolné vrstvy, která poskytuje vynikající ochranu proti korozi.
- Galvanické zinkování je vhodné pro namáhané části, kde je nutná vysoká ochrana proti korozi. Galvanické pokování lze také použít na nikl a chrom.
- Smaltování je proces nanášení sklovité vrstvy (smaltu) na povrch kovu, nejčastěji litiny, která se následně vypaluje při teplotě (obvykle kolem 800–900 °C). Výsledný povlak je hladký, tvrdý a velmi odolný vůči teplu, chemikáliím i korozi.

2.4.4 Impregnace

Impregnace se využívá pro uzavření mikropórů v litině, což zlepšuje její odolnost proti vlhkosti a korozi. Používají se polymerní nebo epoxidové pryskyřice, které zaplňují dutiny v materiálu. Tento proces je zvláště důležitý pro odlitky určené k venkovnímu použití, kde může voda pronikat do mikropórů a urychlovat korozi [25].

Impregnace také pomáhá zlepšit mechanické vlastnosti materiálu a jeho odolnost vůči dynamickému zatížení, čímž se prodlužuje životnost litinových bočnic.

2.4.5 Poréznost

Poréznost litin může mít zásadní dopad na mechanické vlastnosti, jelikož může oslabit strukturu. Vznik pórů lze ovlivnit již ve fázi lití správnou volbou technologických parametrů a složením materiálu [23].

Pro identifikaci pórů se využívají různé defektoskopické metody:

- Kapilární zkoušky umožňují detekci povrchových vad.
- Rentgenová defektoskopie odhaluje vnitřní vady v materiálu.

Minimalizace pórovitosti je klíčová pro dosažení optimálních vlastností litinových lavičkových bočnic, které musejí být pevné, odolné a dlouhodobě stabilní [24].

2.5 Ergonomie laviček

Ergonomie laviček je klíčovým faktorem při jejich návrhu, protože správná konstrukce ovlivňuje komfort uživatele, zdravé držení těla a celkovou funkčnost lavičky v různých prostředích.

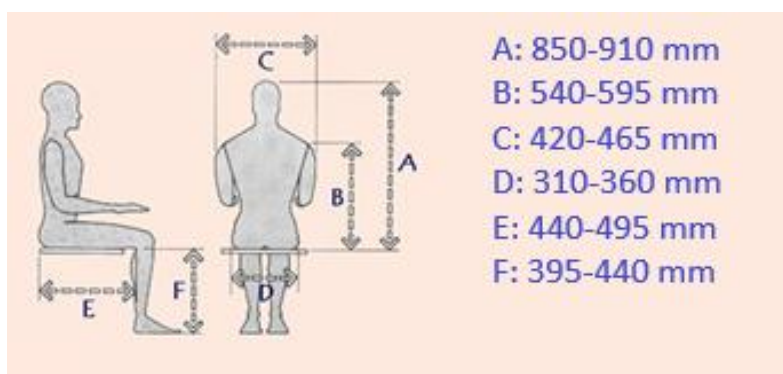
2.5.1 Základní principy ergonomie laviček

- Výška sedáku – Doporučená výška sedáku od země je přibližně 40–45 cm, což umožňuje pohodlné usednutí a vstávání [24].
- Hloubka sedáku – Ideální hloubka sedáku se pohybuje mezi 40–50 cm, aby poskytla dostatečnou oporu stehem, ale neomezovala oběh krve v dolních končetinách.
- Sklon sedáku u laviček – Mírný sklon sedací plochy (5–10° dozadu) zvyšuje komfort sezení a podporuje přirozené držení těla.
- Opěrka zad – Opěrka by měla mít sklon 15–20° a poskytovat dostatečnou oporu v bederní oblasti.
- Područky – Pokud jsou přítomny, měly by být ve výšce 18–25 cm nad sedákem, což umožňuje pohodlné opření rukou a snadnější vstávání [23].

2.5.2 Specifické požadavky na ergonomii litinových laviček

Litinové lavičky často kombinují kovové bočnice s dřevěnými nebo kovovými prkny na sezení a opěradlo. Ergonomický návrh musí zohledňovat:

- Tvar bočnic, který podporuje správný úhel opěradla.
- Dostatečnou pevnost konstrukce, aby lavička odolávala dynamickému zatížení.
- Povrchovou úpravu, která snižuje riziko uklouznutí a zvyšuje komfort sezení.



Obr. 2-10 Standardní rozměry pro osobu

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Při návrhu a výrobě litinové bočnice lavičky je nutné zvážit několik klíčových faktorů, které ovlivňují jak estetickou, tak funkční stránku výrobku. Litina jako materiál nabízí dobré mechanické vlastnosti, jako je vysoká pevnost v tlaku a odolnost proti vibracím, avšak její křehkost může být limitujícím faktorem při zatížení bočnice lavičky.

Jedním z hlavních problémů je volba vhodného druhu litiny. Šedá litina se často používá díky dobrým odlévacím vlastnostem a tlumení vibrací, zatímco tvárná litina by mohla zvýšit mechanickou odolnost a pružnost výrobku. Dalším klíčovým aspektem je samotná technologie výroby – volba formovací směsi, metody odlévání a následné tepelné zpracování mohou ovlivnit výslednou kvalitu bočnice.

Důležitým hlediskem je také optimalizace tvaru. Konstrukce musí splňovat jak estetické požadavky, tak požadavky na pevnost a stabilitu. Tvar bočnice musí být navržen s ohledem na rovnoměrné rozložení napětí a prevenci vzniku vad, jako jsou lunkry, nezaběhnutí nebo vnitřní pnutí.

Dalším faktorem je ekonomická stránka výroby. Náklady na materiál, technologii a úpravu forem musí být optimalizovány, aby byla výroba efektivní a konkurenceschopná. Výroba jednoho kusu se může značně lišit od sériové výroby, a proto je nutné zvážit, zda se vyplatí použít tradiční formování nebo modernější metody, jako je 3D tisk forem pro odlitky.

Posledním, ale neméně důležitým aspektem je udržitelnost výroby. Litina je recyklovatelný materiál, což přispívá k ekologické udržitelnosti, avšak samotný proces výroby může být energeticky náročný. Minimalizace odpadu a efektivní využití surovin jsou proto dalšími aspekty, které je nutné vzít v úvahu při návrhu a výrobě litinové bočnice lavičky.

3.2 Cíl práce

Cílem této práce je vytvořit ucelený přehled výroby bočnic laviček, a to jak z historického hlediska, tak z pohledu současných trendů, materiálů a technologií. Praktická část se zaměří na využití získaných znalostí při návrhu bočnice lavičky, tvorbě modelu a samotné výrobě odlitku.

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

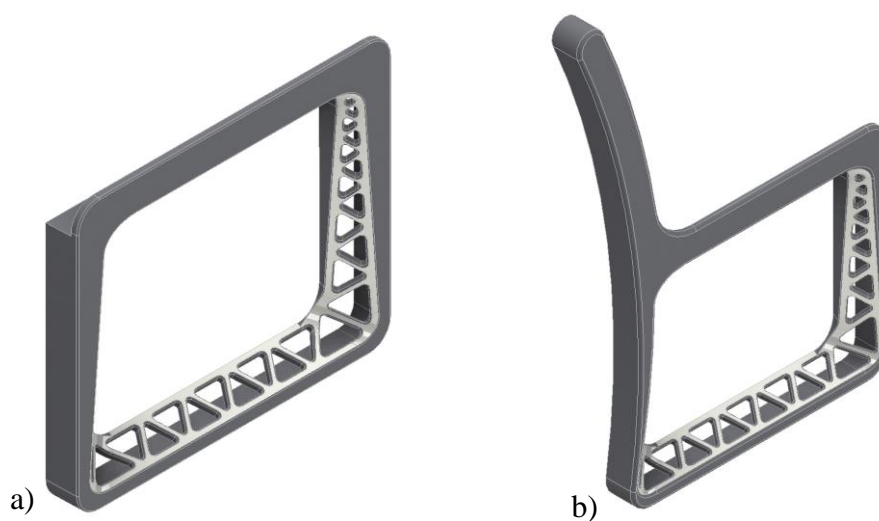
4.1 Koncept 1



Obr. 4-1 Koncept 1

Na obr. 4.1. je zobrazen první návrh bočnice lavičky, který byl vytvořen v softwaru Autodesk Inventor. Tento model představuje moderně pojatý konstrukční prvek, jehož hlavním cílem je dosažení optimální rovnováhy mezi pevností, hmotností a technologičností výroby. Konstrukce je založena na uzavřeném rámu s vnitřní výztuží tvořenou soustavou trojúhelníkových žebér, která zajišťují dostatečnou tuhost při zachování nízké hmotnosti odlitku. Výrobním materiálem by byla litina s lupínkovým grafitem, která se vyznačuje dobrými vlastnostmi, pevností v tlaku a vhodností pro tvarově složitější odlitky. Tento typ litiny se rovněž hodí pro odlévání do pískových forem, což je zvolený způsob výroby. V návrhu je rovněž zohledněna požadovaná geometrie s úkosi pro snadnější vyjímání modelu z formy. Estetickým i identifikačním prvkem návrhu je vybrání s logem Vysokého učení technického v Brně (VUT), které zdůrazňuje propojení projektu s akademickým prostředím.

4.2 Koncept 2 a 3



Obr. 4-2 a) Koncept 2 b) Koncept 3

V rámci návrhové fáze byly vytvořeny dva koncepty bočnic – druhý koncept na obr. 4.2a představuje bočnici určenou pro lavici bez opěradla, zatímco třetí koncept obr. 4.2b je navržen jako bočnice pro lavičku s opěradlem. Oba návrhy byly vymodelovány v softwaru Autodesk Inventor a navrženy s ohledem na výrobu litím z šedé litiny s lupínkovým grafitem. Materiál byl zvolen stejný jak pro koncept 1. Oba návrhy také obsahují odlehčovací prvky ve formě výřezů se vzorem trojúhelníkových žebër, které jsou na rozdíl od konceptu 1 průchozí. Lavička s opěradlem je tvarově složitější, zatímco lavice má jednodušší, kompaktní konstrukci. Oba návrhy byly vytvořeny s ohledem na zásady slévárenské technologie, jako jsou vhodné úkosy a dostatečná tloušťka stěn, aby bylo možné zajistit bezproblémový průběh lití a dobrou kvalitu odlitku.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

5.1 Výběr konceptu

Při výběru vhodného konceptu pro konstrukční realizaci bylo nutné zvážit několik důležitých faktorů, které ovlivňují jak konstrukční, tak technologickou náročnost návrhu. Ze tří vytvořených variant – lavice bez opěradla a laviček s opěradlem – byl pro další zpracování a výrobu vybrán koncept lavice. Důvodem byla zejména nižší konstrukční a technologická náročnost oproti variantám s opěradlem. Lavice má jednodušší tvar a kompaktnější rozměry, které umožňují efektivnější výrobu pískových forem, zajišťují dodržení technologických zásad, jako jsou úkosity nebo minimální tloušťka stěn a snižují riziko vzniku vad při lití. Výroba prototypu lavice tedy představuje efektivní kompromis mezi konstrukční funkčností a výrobní proveditelností. Tento přístup umožňuje zaměřit se na optimalizaci slévárenského procesu a ověření vhodnosti použitého materiálu.

5.2 Modelování Autodesk Inventor

Tvar bočnice lavice byl navržen a vymodelován v softwaru Autodesk Inventor, který umožňuje přesné parametrické 3D modelování a efektivní úpravy geometrie. Model odpovídá jak funkční, tak technologické stránce návrhu s ohledem na následné zhotovení odlitku litím do pískových forem. Bočnice má výšku 430 mm, délku 500 mm, šířku 50 mm a tloušťku stěn 10 mm. Výsledná hmotnost odlitku byla odhadnuta přibližně na 12 kg, přičemž jako materiál byla zvolena šedá litina s lupínkovým grafitem.

Při návrhu geometrie byly zohledněny požadavky na dobrou zabíhavost taveniny, snadné odformování a zároveň i estetický vzhled. Všechny vnější hrany byly zaobleny nebo zkoseny, aby se zabránilo vzniku ostrých přechodů, které by mohly ztěžovat plnění formy. Zaoblení přispívá nejen k lepšímu toku taveniny, ale i ke snížení rizika vzniku vad. Z estetického hlediska pak zaoblené přechody navozují příjemnější a bezpečnější vzhled výrobku.

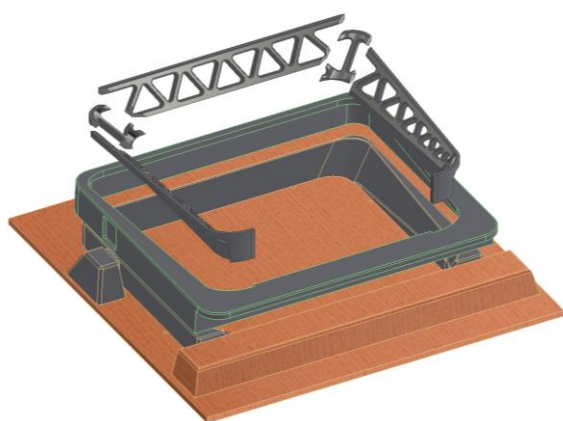
Dále byly do návrhu zahrnuty technologické úkosity nezbytné pro snadné vytažení modelu z formy. Úkosity kolmé na dělicí rovinu byly navrženy v rozsahu 1° – 2° , což odpovídá běžné praxi při klasickém formování do pískových forem. U trojúhelníkových výřezů, které plní designovou i odlehčovací funkci, byly vytvořeny vnitřní úkosity 4° – 5° pro usnadnění vyjmutí modelu z formy.

Vzhledem ke složitosti tvaru byla bočnice navržena z více částí, což je důležité z hlediska konstrukce modelu i samotné formy. Dělení modelu do segmentů umožňuje snadné vyjmutí z formy bez poškození detailů a současně zkracuje čas přípravy formy při opakované výrobě. Toto řešení je praktické zejména v podmínkách školní slévárny, kde se s formami manipuluje ručně a výroba probíhá v menší sérii.

Z konstrukčního hlediska byl model navržen s cílem minimalizovat výrobní rizika a zajistit dobrou tvarovou i rozměrovou stálost výsledného odlitku. Díky použití parametrického modelování je navíc snadno upravitelný pro jiné rozměry nebo varianty.

Z hlediska možného budoucího rozvoje projektu je třeba zmínit, že návrh počítá s možností malosériové výroby, případně s ručním formováním více kusů. Pro skutečně sériovou produkci by však bylo vhodné uvažovat o úpravě modelu pro strojní formování, optimalizaci tvarů pro lepší opakovatelnost a zavedení trvalých modelových zařízení z odolnějších materiálů, jako je např. polyuretanová pryskyřice nebo hliník. Dále by bylo nutné ověřit odolnost konstrukce v dlouhodobém provozu, včetně opotřebení, korozní odolnosti a vandalismu.

Navržená bočnice tedy představuje dobře vyvážený kompromis mezi vyrobiteľností v malých sériích, kvalitní mechanickou funkcí a atraktivním designem, který může být inspirací pro budoucí rozšíření projektu nebo jeho nasazení v praxi.



a)



b)

Obr. 5-1 a) Rozložený CAD model b) Složený slévárenský model

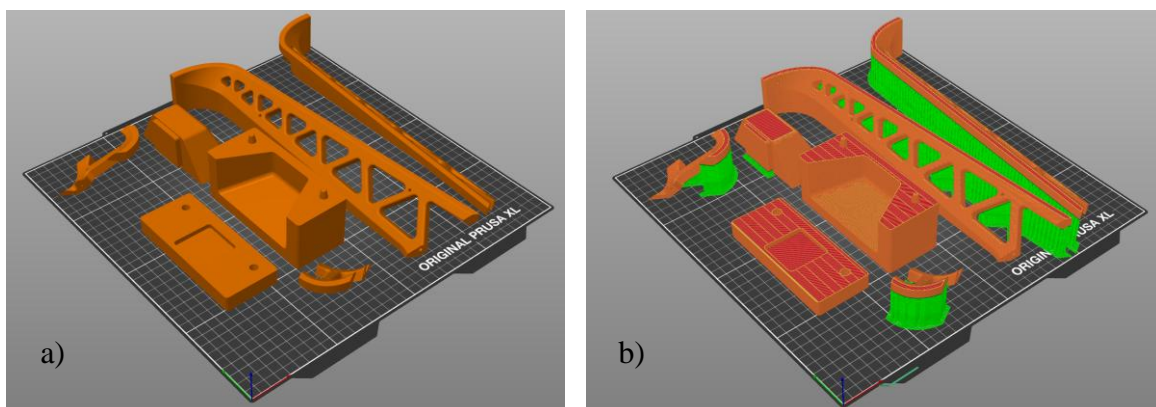
5.3 3D Tisk

Pro výrobu modelu bočnice lavice byl využit 3D tisk, konkrétně technologie FDM (Fused Deposition Modeling), která je vhodná pro rychlou a přesnou výrobu prototypů z termoplastických materiálů. Tisk probíhal na tiskárně Prusa XL, která umožňuje tisk větších objektů s vysokou přesností a stabilitou.

Jako materiál byl zvolen PLA (polylactic acid), tvarově stabilní a vhodný pro vizuální i funkční prototypy. Celková spotřeba filamentu byla přibližně 1 kg, přičemž byla zvolena výplň 15 %, což zajistilo dobrý kompromis mezi pevností a spotřebou materiálu. Doba tisku se pohybovala okolo 40 hodin, především kvůli větším rozměrům a nutnosti použití podpěr pro zajištění správného tvaru složitějších částí modelu.

Při přípravě modelu v softwaru PrusaSlicer byla použita funkce pro zvětšení objektů, která slouží k nepatrnému zvětšení rozměrů modelu. Tento krok je důležitý zejména při výrobě slévárenských modelů, protože litina se při chladnutí smršťuje. Díky této funkci byl zajištěn požadovaný rozměr výsledného odlitku.

Výsledný 3D tištěný model slouží jako pozitiv pro výrobu pískových forem. Tato metoda umožnila rychlou výrobu přesného modelu bez nutnosti náročného obrábění či ručního modelování.



Obr. 5-2 a) 3D tisk b) 3D tisk s podporami

5.4 Výroba Forem

Pro výrobu forem k odlití bočnice lavice byl zvolen křemenný písek pojený pryskyřicí. Tato technologie se běžně používá pro výrobu kusových a malosériových odlitků větších rozměrů. Zvolený křemenný písek s jemnou frakcí a dvousložkovou pryskyřicí po aktivaci začíná tuhnout přibližně po 5–10 minutách, přičemž plná manipulovatelnost formy nastává zhruba po 30 minutách. Díky tomu bylo možné formu po vytvrzení první poloviny opatrně otočit a dokončit druhou část formy.

Formování probíhalo ručně s využitím 3D tištěného modelu, který byl vložen do rámu formy. Po nasypání směsi a jejím zhutnění byla forma ponechána do zatvrdnutí, poté byla otevřena a model vyjmut. Před samotným litím, byly vyvrtány výfuky, vyřezány vtoky a přibližně den předem obě poloviny formy byly napanetrovány grafitovým nátěrem. Tato povrchová úprava zabraňuje penetraci kovu do formy a zvyšuje kvalitu povrchu výsledného výrobku. Těsně před složením se založilo jádro s logem VUT a obě poloviny formy byly sesazeny, staženy závitovými tyčemi a připraveny k odlití.



Obr. 5-3 Spodní forma

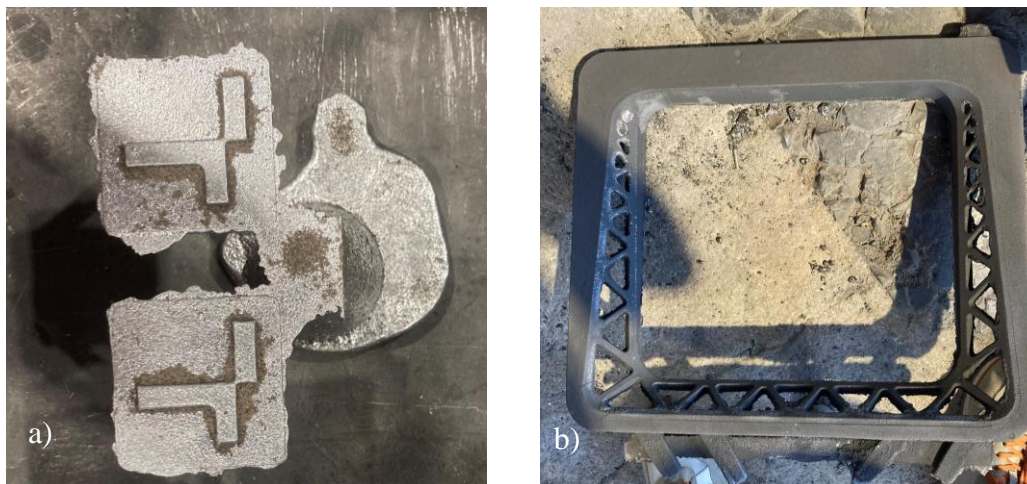
Při výrobě forem se v několika případech vyskytly drobné chyby, které bylo nutné ručně opravit. Nejčastějším problémem byly odlomené nebo odloupnuté části formy, zejména v místech s tenčími stěnami nebo složitějšími detaily, jako jsou trojúhelníkové výřezy v bočnici. Tyto části byly následně opatrně vlepeny zpět pomocí lepidla. I přes tyto opravy bylo nutné formy důkladně přezkontrolovat, aby nedošlo k úniku taveniny nebo vzniku vnitřních vad.



Obr. 5-4 a) Ulomené trojúhelníky b) Vylomené odlehčení

5.5 Odformování a očištění

Po provedení samotného odlití byla forma ponechána ke zchladnutí na pokojovou teplotu, což trvá několik hodin v závislosti na okolních podmínkách a velikosti odlitku. Po dostatečném vychladnutí jsme přistoupili k vytlučení odlitků z forem, tedy k jejich uvolnění. Spolu s hlavním odlitkem bočnice bylo rovněž odformováno odlité logo VUT.



Obr. 5-5 a) odlitek loga VUT b) surový odlitek bočnice

Následně proběhlo odříznutí vtokové soustavy a výfukových kanálků, které zajišťovaly plnění formy litinou a odvod plynů při lití. Tento krok byl proveden ručně pomocí pilky. Poté následovalo broušení odlitků, a to nejprve pomocí úhlové brusky pro hrubé opracování, následně přímou bruskou pro detailní začistění méně přístupných míst a odstranění zbytků nálitků.

Jako finální úprava povrchu bylo použito tryskání ocelovými broky, které odstranilo zbytky slévarenského písku, oxidy a zajišťovalo jednotný matný vzhled litiny. Tento krok zároveň sloužil jako příprava pro případnou další povrchovou úpravu, jako je nátěr nebo lakování.



Obr. 5-6 Očištěná bočnice lavice

6 DISKUZE

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a vyrobit litinovou bočnici lavičky s ohledem na technologické, konstrukční a estetické požadavky. Při návrhu byly využity poznatky z oblasti slévárenství, strojírenské technologie i modelového zařízení, přičemž bylo nutné skloubit požadavky na pevnost, odolnost vůči vnějším vlivům a estetické ztvárnění výrobku.

Navržený model bočnice byl zhotoven z PLA, což umožnilo dosažení vysoké přesnosti a reprodukovatelnosti. Zvolená technologie výroby formy odpovídá běžné praxi při výrobě kusových odlitků. I přes relativní jednoduchost geometrie modelu bylo nutné řešit vhodné úkoly na modelu, dělicí rovinu i formovatelnost, což ukazuje na důležitost přípravy i při zdánlivě jednoduchých odlitcích.

Při výrobě se potvrdila funkčnost navrženého řešení. Odlitek nevykazoval výraznější vady, rozměrová přesnost i celkový vzhled byly v souladu s očekáváním. Drobné odchylky vzniklé při výrobě forem byly v rámci tolerancí a nebránily funkčnímu ani vizuálnímu využití bočnice. Přínosem byla i spolupráce s odborným pracovištěm – slévárnou, která zajistila odpovídající technologickou úroveň výroby.

Praktická použití návrhu byla ověřena úspěšnou výrobou fyzického prototypu. Z hlediska využití by bylo vhodné pokračovat v testování odlitku v reálných podmínkách (např. mechanická odolnost vůči vandalismu či klimatickým vlivům).

7 ZÁVĚR

V bakalářské práci byl úspěšně realizován kompletní proces návrhu a výroby litinové bočnice lavice – od počátečního koncepčního návrhu přes tvorbu modelového zařízení až po samotné odlití ve slévárně. Výsledný odlitek splnil požadované technické i estetické parametry, čímž byl potvrzen vhodně zvolený technologický postup i konstrukční řešení. Práce zároveň ukázala na důležitost kombinace teoretických znalostí a praktických dovedností při výrobě tvarově složitějších odlitků.

Navržená bočnice má sice kompaktní charakter, ale její geometrie není z technologického hlediska jednoduchá – především kvůli trojúhelníkovým výřezům, které tvoří výrazný designový prvek. V případě přechodu na sériovou výrobu by bylo nutné pro každý z těchto výřezů použít samostatná jádra, což by značně zkomplikovalo výrobu forem i celkový odlévací proces. To ukazuje, že i u vizuálně jednoduchých prvků může být technická realizace při větším měřítku výrazně náročnější.

Práce prokázala praktické možnosti využití tradičních slévárenských metod v kombinaci s moderními nástroji – jako je CAD modelování a 3D tisk modelu – při kusové a malosériové výrobě městského mobiliáře. Výsledný výrobek může sloužit jako prototyp pro další vývoj laviček s individuálním designem, případně jako vzor pro školní výuku slévárenských technologií.

Do budoucna lze doporučit zaměření na optimalizaci hmotnosti bočnice, případně zvážení použití alternativních materiálů (např. tvárné litiny nebo hliníkové slitiny), které by mohly přinést výhody z hlediska manipulace, montáže i dlouhodobé odolnosti. Zároveň by bylo přínosné provést dlouhodobé testování výrobku v reálném provozu a zohlednit zpětnou vazbu od uživatelů i správců městského mobiliáře. Takový přístup by mohl vést k dalšímu zlepšení konstrukčního návrhu a jeho širšímu praktickému využití.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HORSKÝ, Jan. *Dějiny veřejného prostoru v Evropě*. Praha: Academia, 2008.
- [2] MORRIS, Anthony Edwin James. *History of Urban Form: Before the Industrial Revolutions*. 3. Longman Scientific & Technical, 1994. ISBN 0582301548.
- [3] CRANZ, Galey. *He Chair: Rethinking Culture, Body, and Design*. New York: W.W. Norton & Company, 1998. ISBN 978-0393733286.
- [4] *Litinová lavička Tupron*. Online. In: Profiba.cz. 2008. Dostupné z: <https://www.profiba.cz/litinova-lavicka-tupron/>. [cit. 2025-03-10].
- [5] *Litinová lavička Histori*. Online. In: Profiba.cz. 2008. Dostupné z: <https://www.profiba.cz/litinova-lavicka-histori/>. [cit. 2025-03-10].
- [6] *Mmcité Lavičky a Lavice*. Online. In: Mmcité. 2010. Dostupné z: <https://www.mmcite.com/parkove-lavicky-a-lavice>. [cit. 2025-03-10].
- [7] *Litinová lavička Start*. Online. In: Kovo-Art. Dostupné z: https://www.kovo-art.cz/lavicky-litinove/568-250690-litinova-lavicka-start.html#/8-barva_prken-teak/13-barva_konstrukce-cerna_komaxit_ral_9005/35-delka_lati-1500_mm. [cit. 2025-03-10].
- [8] *Litinová lavička Bora*. Online. In: Kovo-Art. Dostupné z: https://www.kovo-art.cz/lavicky-litinove/969-251230-litinova-lavicka-bora.html#/8-barva_prken-teak/13-barva_konstrukce-cerna_komaxit_ral_9005/35-delka_lati-1500_mm. [cit. 2025-03-10].
- [9] *URBAMO*. Online. In: URBAMO. 2024. Dostupné z: <https://www.urbamo.cz/litinove-lavicky/>. [cit. 2025-03-11].
- [10] *Lavička TOM*. Online. In: REX s.r.o. 2009. Dostupné z: <https://www.rexsro.cz/nase-vyroby/lavicka-tom>. [cit. 2025-03-11].
- [11] *Lavička Park s područkou*. Online. In: REX s.r.o. 2009. Dostupné z: <https://www.rexsro.cz/nase-vyroby/lavicka-park-s-podruckou>. [cit. 2025-03-11].

- [12] *Drift Bench*. Online. In: Streetlife. 2010. Dostupné z: <https://www.streetlife.nl/en/products/drifter-benches>. [cit. 2025-03-11].
- [13] *Bobby bench*. Online. In: Streetlife. Dostupné z: <https://www.streetlife.nl/en/products/bobby-benches>. [cit. 2025-03-11].
- [14] *AMETISTA ACCESSORIES*. Online. In: Metalco. 2014. Dostupné z: <https://www.metalco.it/prodotto/ametista-accessori/?lang=en>. [cit. 2025-03-11].
- [15] *AIR-PORT A COLLECTION PANCHINE*. Online. In: Metalco. 2014. Dostupné z: <https://www.metalco.it/prodotto/air-port-a-collection-sedute/?lang=en>. [cit. 2025-03-11].
- [16] *Eva*. Online. In: Victorstanley. Dostupné z: <https://www.victorstanley.com/product/eva/>. [cit. 2025-03-11].
- [17] *Ubcí-90*. Online. In: Victorstanley. Dostupné z: <https://www.victorstanley.com/product/ubci-90/>. [cit. 2025-03-11].
- [18] *Bloc-seat*. Online. In: Vestre. Dostupné z: <https://vestre.com/products/seating/bloc-seat>. [cit. 2025-03-11].
- [19] *Stoop-bench*. Online. In: Vestre. Dostupné z: <https://vestre.com/products/multipurpose-furniture/stoop-bench>. [cit. 2025-03-11].
- [20] KUBĚNA, Petr. *Slévárenské technologie a materiály*. Brno: CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-689-4.
- [21] BROWN, John. *Foseco Ferrous Foundryman's Handbook*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999. ISBN 978-0750642842.
- [22] DAVIS, Joseph R. *Cast Iron Technology*. ASM International, 1996. ISBN 978-0871705648.
- [23] ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3015-5.
- [24] HODIS, Zdeněk. *Strojírenská technologie*. Masarykova univerzita, 2013. ISBN 978-80-210-6256-6.

- [25] HORÁČEK, Milan; ČAGÁNEK, Radim a VAŠEK, Vojtěch. Možnosti uplatnění moderních metod při výrobě prototypových odlitků. *Slévárství. Slévárství*. 2016, roč. 64, č. 7-8, s. 218-225.
- [26] GIBSON, Ian; ROSEN, David; STUCKER, Brent a KHORASAN, Mahyar. *Additive Manufacturing Technologies*. Springer, 2021. ISBN 978-3-030-56126-0.
- [27] LIM, Chu Sing; LEONG, Kah Fai a CHUA, Chee Kai. *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications*. 5. World Scientific Publishing Company, 2021. ISBN ISBN 978-981-314-676-1.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 a) Litinová lavička Tupron [4] b) Litinová lavička Histori [5]	18
Obr. 2-2 a) Lavice Construqta [6] b) Lavička Portiqoa [6] c) Lavička landscape [6] d) Lavička Satellite [6]	18
Obr. 2-3 a) Litinová lavička start [7] b) Litinová lavička bora [8]	19
Obr. 2-4 a) Lavička Minsk [9] b) Lavička Citizen [9] c) Lavička Benito delta [9] d) Lavička Benito [9]	19
Obr. 2-5 a) Litinová lavice Tom [10] b) Litinová lavička Park [11]	20
Obr. 2-6 a) Drift bench [12] b) Bobby bench [13]	21
Obr. 2-7 a) Ametista bench [14] b) Air-port bench [15]	21
Obr. 2-8 a) Eva bench [16] b) UBCI-90 bench [17]	21
Obr. 2-9 a) Bloc bench [18] b) Stoop bench [19]	22
Obr. 2-10 Standartní rozměry pro osobu	32
Obr. 4-1 Koncept 1	34
Obr. 4-2 a) Koncept 2 b) Koncept 3	35
Obr. 5-1 a) Rozložený model b) Složený model	37
Obr. 5-2 a) 3D tisk b) 3D tisk s podporami	38
Obr. 5-3 Spodní forma	39
Obr. 5-4 a) Ulomené trojúhelníky b) Vylomené odlehčení	39
Obr. 5-5 a) logo VUT b) bočnice lavice	40
Obr. 5-6 Očištěná bočnice lavice	40