

CREATIVE TECHNICAL EDUCATION IN THE CONTEXT OF SUSTAINABILITY WITH A FOCUS ON RISK ANALYSIS IN WORKING WITH UPCYCLABLE MATERIALS

Tetjana TOMÁŠKOVÁ*, Západočeská univerzita v Plzni, Česká republika

Jarmila HONŽIKOVÁ, Západočeská univerzita v Plzni, Česká republika

Přijato: 8. 9. 2025 / Akceptováno: 1. 12. 2025

Typ článku: Výzkumná studie

DOI: 10.5507/jtie.2025.014

Abstract: In today's world, which is facing growing environmental challenges, it is essential to seek innovative ways to reduce the ecological footprint and promote sustainable development. One area where significant progress can be achieved is education. This article aims to explore the creative use of recyclable and upcyclable materials in education, representing an environmentally responsible approach that offers students practical experience with technologies and the principles of the circular economy. Creativity plays a key role in the educational process, especially in the integration of recycled or upcyclable electronic materials. This approach enables students to develop technical skills, supports their ability to solve problems, and encourages innovative thinking. The research includes an analysis of historical milestones in sustainable development, a theoretical framework encompassing industrial revolutions and education for sustainable development, and the competencies required of educators to manage projects involving recyclable electronic materials. The integration of these materials into the educational process brings several benefits, including reduced material costs and increased student awareness of environmental issues. A practical project involving the production of clocks from upcyclable materials demonstrates the successful application of these resources in teaching. An important part of the research is also the analysis and systematic evaluation of risks associated with the use of upcyclable materials in the educational process. This aspect is crucial not only for ensuring the safety and effectiveness of instruction but also for achieving a high-quality final product within the student project. The main part of the article is devoted to this issue, focusing on the identification of potential risks, the design of preventive measures, and the methodology for evaluating the suitability of individual materials for educational purposes. The creative use of upcyclable materials in education supports students' technical skills, their ability to solve problems, and their capacity to seek innovative solutions, thereby contributing to sustainable development.

*Autor pro korespondenci: tomaskot@kmt.zcu.cz

Key words: sustainable development, recyclable and upcyclable materials in education, project-based learning, project management, risk analysis.

KREATIVNÍ TECHNICKÉ VZDĚLÁVÁNÍ V KONTEXTU UDRŽITELNOSTI SE ZAMĚŘENÍM NA ANALÝZU RIZIK PŘI PRÁCI S UPCYKLOVATELNÝMI MATERIÁLY

Abstrakt: V současné době, kdy se svět potýká s rostoucími environmentálními výzvami, je nezbytné hledat inovativní způsoby, jak snížit ekologickou stopu a podporovat trvale udržitelný rozvoj. Jednou z oblastí, kde lze dosáhnout významného pokroku, je vzdělávání. Tento článek si klade za cíl prozkoumat kreativní využití recyklovatelných a upcyklovatelných materiálů ve vzdělávání, což představuje ekologicky odpovědný přístup, který studentům nabízí praktické zkušenosti s technologiemi a principy cirkulární ekonomiky. Kreativita hraje klíčovou roli v procesu vzdělávání, zejména při integraci recyklovatelných nebo upcyklovatelných elektromateriálů. Tento přístup umožňuje studentům rozvíjet technické dovednosti, podporuje jejich schopnost řešit problémy a hledat inovativní řešení. Výzkum zahrnuje analýzu historických milníků trvale udržitelného rozvoje, teoretický rámec zahrnující průmyslové revoluce a vzdělávání pro trvale udržitelný rozvoj, a kompetence pedagogů potřebné pro řízení projektů s recyklovatelnými elektromateriály. Integrace těchto materiálů do vzdělávacího procesu přináší několik výhod, včetně snížení nákladů na materiály a zvýšení povědomí studentů o ekologických otázkách. Praktický projekt výroby hodin z upcyklovatelných materiálů demonstruje úspěšné využití těchto zdrojů ve výuce. Důležitou součástí výzkumu je rovněž analýza a systematické vyhodnocení rizik spojených s využitím upcyklovatelných materiálů ve vzdělávacím procesu. Tento aspekt je klíčový nejen z hlediska zajištění bezpečnosti a efektivity výuky, ale také pro dosažení kvalitního finálního výrobku v rámci studentského projektu. Právě této problematice je věnována hlavní část článku, která se zaměřuje na identifikaci potenciálních rizik, návrh preventivních opatření a metodologii hodnocení. Kreativní využití upcyklovatelných materiálů ve vzdělávání podporuje technické dovednosti studentů, jejich schopnost řešit problémy a hledat inovativní řešení, což přispívá k trvale udržitelnému rozvoji.

Klíčová slova: udržitelný rozvoj, recyklovatelné a upcyklovatelné materiály ve vzdělávání, projektová výuka, projektové řízení, analýza rizik.

1 Úvod

Otázka trvale udržitelného rozvoje se v posledních desetiletích stala jedním z klíčových témat celosvětového diskurzu. Tato problematika se promítá nejen do oblasti průmyslu, ekonomiky a politiky, ale stále výrazněji také do vzdělávání. Vzdělávací instituce mají zásadní roli při formování postojů mladé generace k životnímu prostředí a při rozvoji dovedností potřebných pro řešení komplexních ekologických výzev. V tomto kontextu se prosazuje koncept vzdělávání, které propojuje environmentální, ekonomické a sociální aspekty s praktickými dovednostmi, kritickým myšlením a tvořivostí.

Jedním z inovativních přístupů, který se v rámci tohoto vzdělávání osvědčuje, je využití recyklovatelných a upcyklovatelných materiálů ve výuce technických předmětů. Tento přístup nejenže podporuje ekologické uvědomění studentů, ale zároveň rozvíjí jejich technické a kreativní schopnosti. Upcyklace elektromateriálů, např. součástek z vyřazených elektronických zařízení, nabízí široké možnosti pro projektovou výuku, která je praktická, mezioborová a zaměřená na řešení reálných problémů.

V tomto článku je pojem upcyklace použit v širším pedagogickém smyslu, jako kreativní využití materiálů, které by jinak skončily jako odpad. Tento přístup slouží k rozvoji technických, environmentálních a designových kompetencí studentů. Z hlediska materiálového inženýrství však nejde o technologicky čistou formu upcyklace, ale spíše o estetickou fixaci odpadu, která má vzdělávací a motivační charakter. Podle Sodje et al. (2025) je upcyklace definována jako transformace materiálů na konci životního cyklu na produkty s vyšší hodnotou ekonomickou, environmentální nebo sociální. V kontextu výuky je proto důležité zdůraznit, že upcyklace zde představuje výukový přístup, jehož cílem je podpořit ekologické uvědomění, kreativitu a praktické dovednosti studentů v rámci projektově orientované výuky.

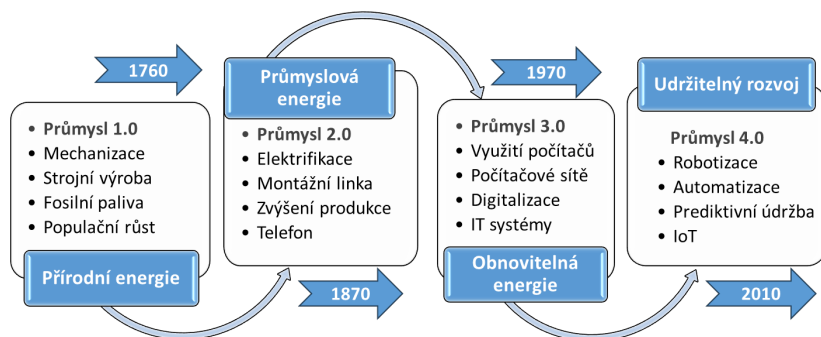
Článek vychází ze skutečných studentských projektů, které se zaměřovaly na výrobu funkčních nástěnných hodin z recyklovatelných elektromateriálů. Tyto projekty přinesly cenné zkušenosti nejen v oblasti technické tvorby, ale i v oblasti týmové spolupráce, plánování a reflexe. Zvláštní pozornost je věnována analýze rizik spojených s prací s upcyklovatelnými materiály, která je klíčová nejen pro zajištění bezpečnosti a kvality výsledných výrobků, ale také jako metodická opora pro budoucí studenty, kteří budou podobné projekty realizovat. Právě zkušenosti

získané přímo v rámci výuky tvoří základ pro navržená doporučení a metodologické přístupy uvedené v tomto článku.

Mnohé odborné práce potvrzují, že propojení projektové výuky s konkrétními zkušenostmi z praxe výrazně napomáhá efektivnímu začlenění principů trvale udržitelného rozvoje do technického vzdělávání (Yasin & Rahman, 2011; Ngo & Chase, 2021; Emblen-Perry, 2022; Santos et al., 2023; Arpaci et al., 2024; Reich & Vermeyen, 2025; Ásványi & Gedeon, 2025; Tomášková, Krotký, & Honzíková 2025; Tomášková, 2025; Tomášková, Honzíková, & Orosová, 2025). Tento přístup zároveň podporuje formování odpovědného vztahu studentů k jejich budoucí profesní i občanské roli.

2 Vývoj myšlení a vzdělávacích přístupů od průmyslové revoluce k udržitelnému rozvoji

Historický vývoj technologií a průmyslové výroby zásadně ovlivnil nejen podobu moderní společnosti, ale také způsob, jakým přemýšlíme o vzdělávání, životním prostředí a odpovědnosti vůči budoucím generacím. Každá z technických revolucí přinesla nové výzvy i příležitosti, které formovaly vztah člověka k přírodě, výrobním procesům a hodnotám, jež jsou dnes spojovány s trvale udržitelným rozvojem. Na obrázku 1 jsou znázorněny čtyři průmyslové revoluce spolu s jejich nejdůležitějšími charakteristickými znaky, které ilustrují vývoj technologií a jejich dopad na společnost (Tomášková, Duda, Abrahám, Yanovych, & Uruba, 2023). První průmyslová revoluce, která se odehrála na přelomu 18. a 19. století, byla charakteristická zavedením parního stroje, mechanizací výroby a rozvojem textilního průmyslu. Tato etapa znamenala počátek systematického využívání fosilních paliv, což mělo zásadní dopad na životní prostředí. Vzdělávání se začalo orientovat na technické dovednosti potřebné pro obsluhu strojů, avšak ekologické důsledky industrializace nebyly v té době reflektovány. Druhá průmyslová revoluce, která nastala na konci 19. století, přinesla elektrifikaci, rozvoj chemického průmyslu a masovou výrobu. Zvyšující se spotřeba surovin a energie vedla k dalšímu zatížení přírodních zdrojů. Vzdělávací systémy se rozšiřovaly o nové technické obory, ale otázky udržitelnosti zůstávaly na okraji zájmu. V této době se však začínají objevovat první ekologické iniciativy jako reakce na znečištění ovzduší a vody.



Obr. č. 1: Čtyři průmyslové revoluce
(viz Tomášková, Duda, Abrahám, Yanovych, & Uruba, 2023).

Třetí technická revoluce, která probíhala ve druhé polovině 20. století, byla spojena s nástupem automatizace, elektroniky a informačních technologií. Tato etapa přinesla nové možnosti pro efektivní řízení výroby, ale zároveň zvýšila produkci elektroodpadu. Vzdělávání začalo reflektovat potřebu kritického myšlení, interdisciplinaritu a základních ekologických znalostí. Objevuje se koncept environmentální výchovy, který postupně proniká do školních kurikul. Čtvrtá průmyslová (Průmysl 4.0) revoluce je charakterizována digitální transformací, rozvojem umělé inteligence, internetu věcí a pokročilých materiálů. Tato revoluce přináší nejen technologické inovace, ale také naléhavou potřebu řešit klimatickou krizi, energetickou efektivitu a přechod k cirkulární ekonomice. Zatímco čtvrtá průmyslová revoluce, jejíž počátky se datují přibližně od roku 2010, přináší zásadní technologické změny, paralelně s ní se prohlubuje i společenské uvědomění o nutnosti udržitelného rozvoje. Pátá průmyslová revoluce, známá jako Průmysl 5.0, byla představena Evropskou komisí v roce 2021 jako reakce na rostoucí potřebu propojit technologický rozvoj s lidskými a environmentálními hodnotami. Na rozdíl od předchozí čtvrté revoluce, která se zaměřovala především na digitalizaci, automatizaci a propojení systémů, Průmysl 5.0 klade důraz na humanizaci technologií, udržitelnost a odolnost. Technologie zde nejsou cílem samy o sobě, ale prostředkem k vytváření hodnot, které prospívají lidem i planetě. V této koncepci se udržitelnost stává integrální součástí průmyslové strategie. Klíčovou roli hraje oběhové hospodářství, které podporuje návrh produktů tak, aby bylo možné je opravovat, recyklovat a znovu využívat. Důraz je kladen také na energetickou

účinnost a dekarbonizaci, tedy snižování emisí a využívání obnovitelných zdrojů. Moderní technologie jako robotika, umělá inteligence a digitalizace jsou využívány k optimalizaci spotřeby surovin a ke snížení ekologické zátěže. Firmy jsou v rámci Průmyslu 5.0 vedeny k tomu, aby se zaměřovaly nejen na ekonomický zisk, ale i na sociální a environmentální odpovědnost – vůči zaměstnancům, komunitám i přírodě. Důležitým prvkem je také lokálnost a odolnost výrobních systémů, které se lépe přizpůsobují klimatickým změnám a zajišťují transparentnost dodavatelských řetězců. Vzdělávání v kontextu Průmyslu 5.0 se orientuje na rozvoj interdisciplinárních kompetencí, kritického myšlení, etického rozhodování a ekologické gramotnosti. Cílem je připravit odborníky, kteří budou schopni navrhovat inovace s ohledem na dlouhodobý přínos pro společnost i životní prostředí.

Myšlenky omezování negativních dopadů lidské činnosti na životní prostředí se začaly výrazněji prosazovat již v 60. letech 20. století, kdy Rachel Carsonová svou knihou *Mlčící jaro* podnítila vznik moderního environmentálního hnutí (Carson, 1962). Od té doby se formovala řada klíčových mezinárodních iniciativ, které postupně definovaly rámec udržitelného rozvoje. Stockholmská konference OSN v roce 1972 zahájila globální spolupráci v oblasti environmentálního vzdělávání (United Nations, 1972), zatímco zpráva *Naše společná budoucnost* z roku 1987 přinesla první ucelenou definici trvale udržitelného rozvoje (World Commission on Environment and Development, 1987). V následujících dekádách se environmentální témata stala součástí mezinárodních dohod, rámcových úmluv i právně závazných protokolů. Významným milníkem byla Konference OSN v Riu de Janeiro (1992), která položila základy pro začlenění principů udržitelnosti do vzdělávacích strategií (United Nations, 1992). Kjótský protokol (United Nations, 1997) a cíle tisíciletí (United Nations, 2000) dále posílily důraz na propojení environmentálních, sociálních a ekonomických aspektů v rámci vzdělávací politiky. Významným milníkem byl také Světový summit o udržitelném rozvoji v Johannesburgu v roce 2002, jehož výstupem byla Johannesburgská deklarace a Plán implementace, které potvrdily závazek k udržitelnému rozvoji a zdůraznily propojení environmentálních, sociálních a ekonomických aspektů (United Nations, 2002). Tyto dokumenty zároveň posílily význam vzdělávání jako nástroje pro dosažení udržitelného rozvoje. Od roku 2005 se vzdělávání pro udržitelný rozvoj stalo samostatnou agendou UNESCO, což vedlo k reformám kurikul a rozvoji pedagogických přístupů zaměřených na klimatickou gramotnost (UNESCO, 2005). Agenda 2030 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2015) a Pařížská dohoda (United Nations Framework Convention on Climate

Change, 2015) představují globální rámce, které vyžadují systematické vzdělávání odborníků v oblasti emisí, technologií a adaptace. Zprávy IPCC z let 2019 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019), 2021 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021) a příprava AR7 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2025) potvrzují, že klimatické výzvy nelze řešit bez aktivního zapojení vzdělávacích institucí.

Z pohledu současného výzkumu je zřejmé, že vzdělávání hraje klíčovou roli v přechodu k udržitelné společnosti. Historické milníky ukazují, jak se environmentální témata postupně stávají součástí formálního i neformálního vzdělávání, a jak se mění požadavky na kompetence budoucích generací. Tento vývoj potvrzuje nezbytnost interdisciplinárního přístupu, propojení vědy, politiky a pedagogiky, a otevírá prostor pro další výzkumné a metodické inovace. Vzdělávání, které reflektuje historické souvislosti a současné ekologické výzvy, má klíčovou roli v přípravě studentů na odpovědné rozhodování v profesní i občanské sféře. Právě propojení technického vzdělávání s principy udržitelnosti představuje cestu k formování generace, která bude schopna hledat inovativní a zároveň odpovědná řešení.

3 Kreativní využití upcyklovatelných materiálů ve studentském projektu

V rámci praktického vzdělávání zaměřeného na udržitelnost vznikl studentský projekt, který propojuje technické dovednosti s environmentálními principy prostřednictvím výroby funkčních nástěnných hodin. Studenti pracovali s různorodými upcyklovatelnými materiály, zejména s elektroodpadem z vyřazené elektroniky a s korkovými zátkami. Výběr těchto materiálů byl motivován nejen jejich dostupností, ale také snahou upozornit na ekologické a technické výzvy spojené s jejich zpracováním. Elektroodpad představuje komplexní materiál s potenciálními riziky, jako je přítomnost toxických látek, ostrých hran nebo nutnost demontáže součástek. Práce s ním vyžaduje pečlivé plánování, bezpečnostní opatření a technickou zdatnost. Korkové zátky naopak nabízejí přírodní, lehký a snadno opracovatelný materiál, který umožňuje kreativní designové variace a podporuje principy cirkulární ekonomiky. Projekt tak rozvíjí kompetence studentů v oblasti designu, technologií, týmové spolupráce i ekologického uvědomění, a zároveň ukazuje, jak lze propojit technické vzdělávání s principy odpovědného nakládání se zdroji. Dosavadní publikace (Tomášková, Krotký, & Honzíková, 2025; Tomášková, Krotký, & Honzíková, 2025; Tomášková, 2025; Tomášková, Honzíková, &

Orosová, 2025) se věnovaly především kreativnímu a didaktickému potenciálu výroby nástěnných hodin z upcyklovatelných materiálů. Tento článek však rozšiřuje dosavadní poznatky o systematickou analýzu rizik, která se v kontextu technického vzdělávání stává klíčovým prvkem pro zajištění bezpečnosti, kvality výstupů a rozvoj profesních kompetencí studentů.

3.1 Projektový management ve studentském projektu

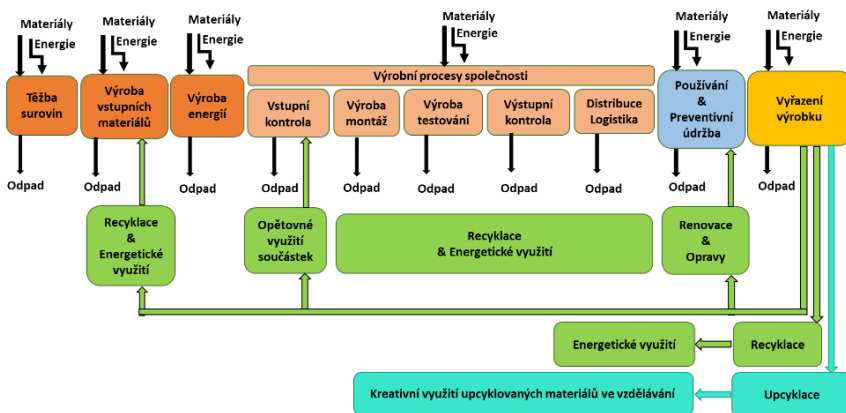
Ve školním prostředí se projektový management (Hrazdilová Bočková, 2015; Pollack, Helm, & Adler, 2018; Wadhwa, 2023; Tomášková, Krotký, & Honzíkova, 2025; Tomášková, 2025) stále častěji využívá jako efektivní nástroj pro plánování, organizaci a realizaci jednorázových i opakujících se aktivit. Projekty mohou být krátkodobé nebo dlouhodobé, přičemž zahrnují širokou škálu činností – od vývoje nových produktů, přes technické a kreativní experimenty, až po organizační změny v rámci školních akcí či výuky. Cílem projektového řízení je dosáhnout konkrétních výsledků v předem stanoveném časovém rámci, s omezenými zdroji a v požadované kvalitě. Každý projekt má jasně definovaný začátek a konec a probíhá v několika navazujících fázích. V úvodní, předvýrobní fázi, se projekt plánuje, vybírají se vhodné materiály, navrhuje se technická a designová řešení, sestavují se časové harmonogramy a připravují se výrobní postupy. Následuje výrobní fáze, během níž vzniká prototyp, testuje se jeho funkčnost a v případě potřeby se zahajuje sériová výroba. Po dokončení výroby přichází na řadu postvýrobní fáze, která zahrnuje distribuci, prezentaci, marketing nebo prodej. Poslední fází je uzavření projektu, kdy se vyhodnocují dosažené výsledky, analyzuje se průběh a získává se zpětná vazba pro budoucí zlepšení. Výuka projektového managementu klade důraz na systematické plánování, které studenti realizují pomocí časových harmonogramů a přehledných pracovních kroků. Tyto nástroje jim umožňují lépe pochopit jednotlivé fáze projektu, jejich logickou návaznost a časovou posloupnost. Příkladem takového přístupu je projekt výroby designových hodin z recyklovatelných materiálů, v němž studenti prošli celým procesem od návrhu přes technickou realizaci až po prezentaci hotového výrobku.

Než se však studentům začne představovat samotný koncept projektového managementu a řešit konkrétní studentský projekt, je velmi důležité, aby měli základní představu o tom, co obnáší výrobní proces, jaké fáze zahrnuje, jaké nástroje a materiály se používají. Studenti by měli rozumět tomu, jaké vstupy a výstupy se v rámci fungování průmyslového podniku nebo společnosti běžně

vyskytují. Vstupy mohou zahrnovat suroviny, energii, lidskou práci, informace či technologické vybavení. Výstupy pak představují hotové výrobky, služby, ale také vedlejší produkty, jako jsou odpadní materiály nebo emisní látky. V závislosti na zaměření podniku (např. strojírenství, elektrotechnika, chemický průmysl, potravinářství) se liší nejen typy vstupů a výstupů, ale také charakter výrobních aktivit. Tyto aktivity mohou generovat různé druhy odpadu např. technologický odpad, obalový materiál, zmetky nebo nevyužité části surovin. Obecné schéma výrobního procesu, který vychází z konceptu tzv. životního cyklu výrobku (Obr. 2), což je další téma, které se může diskutovat v rámci řešení studentských projektů s využitím upcyklovatelných materiálů (Tomášková, Honzíková, Krotký, 2024). Životní cyklus výrobku nezačíná samotnou výrobou, ale již ve fázi získávání surovin a materiálů, které jsou nezbytné pro jeho vznik. Tyto suroviny jsou následně přepravovány, zpracovávány a využívány při výrobních procesech, které zahrnují také balení, volbu vhodné dopravy a distribuci finálního výrobku nebo jeho polotovaru ke koncovému uživateli. Po uvedení výrobku do provozu následuje fáze jeho používání, která může být výrazně prodloužena díky pravidelné preventivní údržbě. Tato etapa je důležitá nejen z hlediska funkčnosti, ale i z pohledu environmentálního dopadu, protože prodloužení životnosti výrobku snižuje potřebu výroby nových produktů a tím i spotřebu zdrojů. Konec životního cyklu výrobku nastává po jeho dosloužení. Tato fáze je z hlediska udržitelnosti a ochrany životního prostředí mimořádně významná. Nejprve dochází ke shromáždění a třídění výrobků podle jejich materiálového složení např. na kovy, plasty, sklo nebo elektronické součástky. U složitějších zařízení, jako jsou elektrospotřebiče, je nutná demontáž na jednotlivé komponenty, což umožňuje efektivnější zpracování a recyklaci jednotlivých materiálů. Materiály, které lze dále využít, jsou recyklovány např. kovy se taví a plasty se zpracovávají na granulát pro další výrobu. Složky, které nelze recyklovat, mohou být energeticky využity jako palivo v příslušných zařízeních, čímž se minimalizuje jejich uložení na skládku. Zbytkový odpad, který již nelze jinak využít, je bezpečně odstraněn, nejčastěji formou skládkování nebo spalování. Celý tento proces je klíčový pro snižování ekologické zátěže a podporu principů cirkulární ekonomiky, která usiluje o maximální využití dostupných zdrojů, prodloužení životnosti výrobků a minimalizaci vzniku odpadu. Vědomé řízení životního cyklu výrobku je proto zásadním nástrojem pro dosažení udržitelného rozvoje.

Na Obr. 2 je kromě recyklace znázorněna také upcyclace, která představuje alternativní přístup k nakládání s materiály po skončení jejich původního využití.

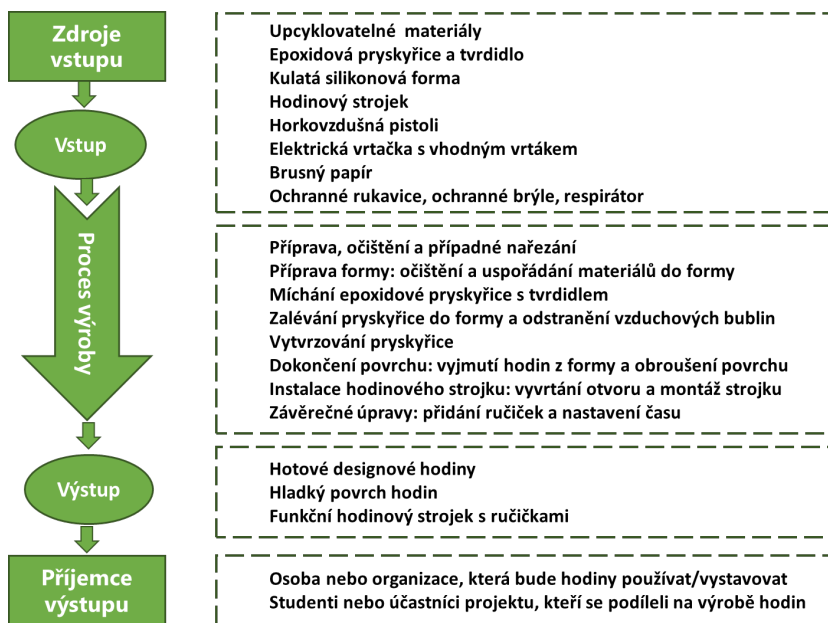
Zatímco recyklace znamená přepracování použitých materiálů na nové suroviny, často s nižší kvalitou než původní (tzv. downcyklace např. plast na granulát nebo papír na lepenku), upcyklace jde o krok dál. Využívá použité materiály k tvorbě nových výrobků s vyšší přidanou hodnotou, a to jak estetickou, tak funkční. Její význam spočívá především ve snižování množství odpadu, který by jinak skončil na skládce, a zároveň podporuje kreativitu a inovace, zejména v oblasti designu, umění a řemesel. Oproti tradičním recyklačním procesům navíc často zachovává více energie, protože nevyžaduje technologicky náročné zpracování. Upcyklace rovněž přispívá ke zvyšování povědomí o udržitelnosti a může motivovat jednotlivce i firmy k odpovědnějšímu přístupu k materiálům. V kontextu cirkulární ekonomiky má proto významné místo, neboť prodlužuje životní cyklus materiálů a výrobků bez nutnosti jejich úplného přepracování. Její využití ve vzdělávacích nebo studentských projektech např. při výrobě funkčních hodin z elektroodpadu může být nejen ekologicky přínosné, ale také inspirativní z hlediska výuky a rozvoje praktických dovedností.



Obr. č. 2: Obecné schéma výrobního procesu produktu
(viz Tomášková, Honzíková, Krotký, 2024)

Na Obr. 3 a Obr. 4 je znázorněný proces výroby designově atraktivních hodin z upcyklovatelných materiálů (Tomášková, Krotký, & Honzíková, 2025; Tomášková, Krotký, & Honzíková, 2025; Tomášková, 2025; Tomášková, Honzíková, & Orosová, 2025). Obr. 3 přehledně zachycuje jednotlivé fáze výroby nástěnných

hodin, které vznikají kombinací upcyklovatelných materiálů a epoxidové pryskyřice. Vstupními surovinami jsou použité komponenty (např. fragmenty elektrodopadu), epoxidová pryskyřice s tvrdidlem, kulatá silikonová forma, hodinový strojek a základní nářadí včetně horkovzdušné pistole, elektrické vrtačky a brusného papíru. Nechybí ani ochranné pomůcky (rukavice, brýle, respirátor), které zajišťují bezpečnost při práci. Proces výroby je rozdělen do osmi navazujících kroků, které zajišťují kvalitní a funkční výsledek. Nejprve probíhá příprava materiálů, kdy jsou použité součástky důkladně očištěny a nařezány na požadované rozměry. Následuje příprava formy, do níž jsou jednotlivé komponenty pečlivě uspořádány – obvykle do silikonové formy, která určuje výsledný tvar výrobku. Ve třetím kroku dochází k míchání pryskyřice s tvrdidlem, přičemž je klíčové přesné dávkování a důkladné promíchání obou složek. Takto připravená směs se následně zalévá do formy, kde obklopí komponenty; zároveň je třeba odstranit případné vzduchové bubliny, aby byl výsledek hladký a bez vad. Po zalití následuje vytvrzování, kdy se forma ponechá v klidovém prostředí po dobu několika hodin, aby směs zcela ztuhla. Po vytvrzení se výrobek vyjme a přechází se k dokončení povrchu, obroušení hran a případné úpravy povrchu pro dosažení estetického vzhledu. V předposledním kroku se provádí instalace hodinového strojku, což zahrnuje vyvrtání otvoru a upevnění mechanismu. Nakonec přichází na řadu závěrečné úpravy, tedy nasazení ručiček a nastavení času, čímž je celý proces výroby završen.



Obr. č. 3: Proces výroby hodin z upcyklovatelných materiálů

Obr. 3 zároveň slouží jako ilustrace praktického zapojení studentů do procesu výroby, který vyžaduje nejen kreativitu, ale i důsledné plánování a dodržování bezpečnostních opatření.



Obr. 4 Proces výroby hodin z upcyklovatelných materiálů
(a) upcyklovatelný materiál; b) design ve formě; c) finální výrobek)

Výsledkem je funkční a esteticky zajímavý výrobek s originálním vzhledem, který odráží kreativní přístup k upcyklaci (Obr. 4). Hodiny mohou sloužit jako praktický předmět i jako výukový výstup v rámci environmentálně zaměřených projektů.

Na Obr. 5 je patrné, že studenti pracovali s různorodými upcyklovatelnými materiály, zejména s elektroodpadem z vyřazené elektroniky a s korkovými zátkami. Tyto materiály jsou ve formách buď rozložené, nebo designově uspořádané, což naznačuje jejich promyšlené rozmístění před zalitím epoxidovou pryskyřicí. Tímto způsobem vznikají originální kompozice, které jsou nejen funkční, ale i vizuálně atraktivní (Tomášková, Honzíková, & Orosová, 2025).



Obr. 5 Kreativní využití upcyklovatelných materiálů při výrobě hodin

Práce s epoxidovou pryskyřicí, elektrickým nářadím a drobnými komponenty z elektroodpadu klade důraz na správné používání ochranných pomůcek (rukavice, brýle, respirátor) a na kontrolu pracovního prostředí. Tato část projektu přirozeně přechází do problematiky řízení rizik, která bude podrobně rozebrána v následující kapitole, kde studenti se během realizace učí identifikovat a vyhodnocovat potenciální rizika.

2.2 Analýza a řízení rizik ve studentském projektu

Práce s elektroodpadem a upcyklovatelnými materiály, zejména s vyřazenými součástkami z elektronických zařízení, představuje specifická rizika, která lze klasifikovat jako mechanická, chemická a elektrická. Mechanická rizika zahrnují např. ostré hrany a lámavé části, které mohou způsobit poranění při manipulaci. Chemická rizika vyplývají např. z přítomnosti těžkých kovů, pájecích slitin a zbytků elektrolytických kapalin, jež mohou mít toxické nebo korozivní účinky. Elek-

trická rizika souvisejí např. s reziduálním napětím v kondenzátorech, které může vést k úrazu elektrickým proudem. Korkové zátky, ačkoliv působí jako bezpečný přírodní materiál, mohou při nevhodném opracování, např. při řezání či vrtání, produkovat jemné částice dráždivé pro dýchací cesty. Pokud pocházejí z neznámého nebo kontaminovaného prostředí, mohou být rovněž zdrojem mikrobiální kontaminace. Vzhledem k těmto skutečnostem je nezbytné, aby byl celý projekt doplněn o promyšlená preventivní opatření. Ta zahrnují pečlivý výběr vhodných upcyklovatelných materiálů, nástrojů a technologií s ohledem na bezpečnost jejich zpracování, dále systematické školení studentů v oblasti bezpečnosti práce a ekologického nakládání s odpady. Součástí řízení rizik je také zavedení kontrolních mechanismů pro identifikaci rizikových komponent a návrh pracovního postupu, který respektuje zásady ergonomie, hygieny a minimalizace expozice škodlivým látkám. Systematická analýza rizik (viz Tab. 1) významně přispívá ke zvýšení kvality výuky. Zároveň podporuje rozvoj kritického myšlení, odpovědného rozhodování a technické gramotnosti studentů. V kontextu vzdělávání pro udržitelný rozvoj se stává klíčovým nástrojem pro formování budoucích odborníků, kteří budou schopni navrhnout řešení s ohledem na bezpečnost, ekologii i společenskou odpovědnost. Skupiny rizik vycházejí z jednotlivých fází výrobního procesu hodin (viz Obr. 3). Konkrétní rizika jsou definována na základě pracovního postupu a technických kroků projektu. Preventivní opatření jsou navržena tak, aby účinně předcházela vzniku rizikových nebo nebezpečných situací.

Skupina rizik	Definované riziko	Preventivní opatření
Zdroje vstupu do výrobního procesu	Kamenný obchod Finanční riziko: Materiály v kamenných obchodech bývají zpravidla dražší než v e-shopech, což může negativně ovlivnit rozpočet projektu.	<ul style="list-style-type: none"> • Vytvoření seznamu doporučených dodavatelů s transparentní cenovou politikou. • Zapojení studentů do cenového průzkumu jako součást výuky ekonomického myšlení.
	Kamenný obchod Riziko nejasné specifikace Nedostatečně označené složení nebo technické parametry výrobků mohou vést k nesprávnému výběru komponent a následnému nákupu nevhodných výrobků (včetně ochranných prostředků), to může způsobit technické komplikace při výrobě, ztrátu času i finančních prostředků.	<ul style="list-style-type: none"> • Vytvoření kontrolního seznamu pro nákup (např. požadované vlastnosti, kompatibilita). • Školení studentů v oblasti technické dokumentace a čtení specifikací. • Spolupráce s odborníky nebo laboratorními techniky při výběru materiálů.

Skupina rizik	Definované riziko	Preventivní opatření
Zdroje vstupu do výrobního procesu	<p>Internetový obchod Riziko doručení nesprávného zboží Místo objednaných komponent (např. epoxidová pryskyřice a tvrdidlo, silikonová forma, hodinový strojek) může být doručeno jiné nebo nekompletní zboží, což může narušit časový harmonogram výroby a způsobit technické komplikace.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Volba ověřených e-shopů s pozitivními recenzemi a jasnými reklamačními podmínkami. • Kontrola objednávky ihned po doručení. • Vytvoření seznamu alternativních dodavatelů.
	<p>Internetový obchod Riziko doručení nesprávných typů ochranných pomůcek Místo požadovaných ochranných prostředků (např. rukavice, ochranné brýle, respirátor) mohou být doručeny jiné typy, které neodpovídají požadovaným technickým nebo bezpečnostním normám. To může ohrozit bezpečnost práce při manipulaci s chemickými látkami.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Výběr dodavatelů, kteří uvádějí přesné technické specifikace a certifikace výrobků v souladu s legislativními požadavky a praxí na univerzitě. • Kontrola souladu s vnitřními směrnici univerzity pro poskytování OOPP.
	<p>Internetový obchod Riziko opožděného doručení potřebných materiálů, výrobků a ochranných pomůcek Zpoždění v doručení klíčových komponent (např. epoxidová pryskyřice, silikonové formy, hodinové strojky, OOPP) může narušit harmonogram výroby, ovlivnit výuku a vést k organizačním komplikacím.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plánování nákupů s dostatečnou časovou rezervou. • Sledování zásilek a komunikace s dodavateli o předpokládaném termínu doručení. • Vytvoření seznamu alternativních dodavatelů pro případ zpoždění.
	<p>Průmyslový výrobní podnik Riziko poskytnutí upcyklovatelných elektro materiálů s ostrými hranami Materiály získané z průmyslového podniku (např. desky plošných spojů, kovové komponenty) mohou mít ostré hrany nebo jiná fyzická poškození, která představují riziko poranění při manipulaci a výrobě.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vstupní vizuální kontrola upcyklovatelných materiálů před použitím. • Používání vhodných ochranných pomůcek (rukavice, brýle). • Mechanické opracování hran (např. broušení, začištění) před začleněním do výrobního procesu. • Školení studentů v oblasti bezpečné manipulace s technickým materiálem.
	<p>Průmyslový výrobní podnik Riziko poskytnutí křehkých a lámavých elektro součástek Upcyklovatelné elektro materiály (např. kondenzátory, keramické součástky, skleněné prvky) mohou být křehké, což zvyšuje riziko jejich rozbití při manipulaci, montáži nebo přepravě.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vizuální kontrola a třídění součástek před použitím. • Používání vhodných ochranných pomůcek a nástrojů pro jemnou manipulaci. • Vzdělávání studentů v oblasti práce s citlivými komponenty.
	<p>Průmyslový výrobní podnik Riziko přítomnosti těžkých kovů v upcyklovatelných elektro materiálech Materiály získané z průmyslového odpadu mohou obsahovat zbytky těžkých kovů (např. olovo, kadmium), které představují zdravotní riziko při manipulaci a zpracování, zejména v prostředí výuky.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Požadavek na předběžné informace o složení materiálů od průmyslového podniku. • Používání osobních ochranných prostředků při manipulaci. • Okamžitě vyloučení materiálů s podezřelým vzhledem a obsahem z výukového procesu. • Vzdělávání studentů v oblasti práce s upcyklovatelnými elektromateriály.

Skupina rizik	Definované riziko	Preventivní opatření
Zdroje vstupu do výrobního procesu	<p>Průmyslový výrobní podnik Riziko přítomnosti pájecích slitin v upcyklovatelných elektro materiálech Materiály určené k upcyklaci mohou obsahovat zbytky pájecích slitin (např. na bázi olova nebo cínu), které mohou představovat zdravotní riziko při manipulaci, zejména při zahřívání nebo mechanickém opracování.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Požadavek na předběžné informace o složení materiálů od průmyslového podniku. • Vizualní kontrola a případná analýza materiálů s podezřením na přítomnost pájecích slitin. • Používání osobních ochranných prostředků při manipulaci. • Okamžité vyloučení materiálů s podezřelým vzhledem a obsahem z výukového procesu. • Vzdělávání studentů v oblasti práce s upcyklovatelnými elektromateriály.
	<p>Průmyslový výrobní podnik Riziko přítomnosti zbytků elektrolytických kapalin I malé elektrolytické kondenzátory nebo jiné komponenty z rozebraných zařízení (např. z počítačů, automobilové elektroniky) mohou obsahovat zbytky elektrolytu, který může být korozivní nebo toxický.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vizualní kontrola komponent na známky úniku nebo poškození. • Používání ochranných rukavic a pracovních ploch s absorpční vrstvou. • Vyloučení poškozených komponent z výukového procesu. • Informování a školení studentů o rizicích spojených s elektrolytickými látkami.
	<p>Průmyslový výrobní podnik Riziko reziduálního elektrického napětí v kondenzátorech I malé kondenzátory mohou uchovávat zbytkové elektrické napětí, které může způsobit úraz elektrickým proudem při manipulaci.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vizualní kontrola komponent na známky poškození. • Používání ochranných pomůcek. • Školení studentů v oblasti bezpečné práce s elektrokomponenty. • Označování komponent s potenciálním rizikem napětí ke vracení do průmyslového výrobního podniku ke vybíjení kondenzátorů.
	<p>Průmyslový výrobní podnik Riziko zrušení doručení upcyklovatelných elektro materiálů Průmyslový podnik může z různých důvodů (např. změna interní politiky, logistické problémy, nedostatek materiálů) zrušit plánované poskytnutí elektroodpadu určeného k upcyklaci, což může narušit výukový nebo výrobní plán.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Navázání spolupráce s více průmyslovými partnery pro zajištění alternativních zdrojů. • Uzavření rámcových dohod nebo memorand o spolupráci. • Vytvoření rezervního plánu pro případ výpadku dodávky (např. použití jiného alternativního upcyklovatelného materiálu, jako je korek, nebo využití univerzitních zásob).
	<p>Průmyslový výrobní podnik Riziko ukončení spolupráce Průmyslový podnik může jednostranně ukončit spolupráci (např. z důvodu změny priorit, reorganizace nebo právních omezení), což může vést k výpadku dodávek upcyklovatelných elektro materiálů a narušení výukového nebo projektového plánu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Navázání spolupráce s více průmyslovými partnery pro snížení závislosti na jednom zdroji. • Uzavření rámcových smluv nebo memorand o porozumění s jasně definovanými podmínkami spolupráce. • Vytvoření rezervního plánu pro případ ukončení spolupráce (např. využití alternativních materiálů, jako je korek, nebo univerzitních zásob).

Skupina rizik	Definované riziko	Preventivní opatření
Zdroje vstupu do výrobního procesu	<p>Domácnost Riziko nekvalifikovaného odhadu upcyklovatelných elektro materiálů Elektrokomponenty získané z domácností (např. ze starých počítačů, spotřebičů nebo hraček) mohou být nesprávně vyhodnoceny jako vhodné pro další použití, což může vést k technickým problémům, bezpečnostním rizikům nebo neefektivnímu využití materiálu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vzdělávání studentů v oblasti identifikace a hodnocení elektro komponent. • Konzultace s odborníky nebo elektrotechniky při výběru materiálů. • Vytvoření metodického návodu pro posuzování vhodnosti domácích elektro materiálů. • Okamžité vyloučení komponent s nejasným původem nebo poškozením.
	<p>Domácnost Riziko chybějící dokumentace Elektrokomponenty získané z domácností často postrádají informace o složení, stáří nebo předchozím použití. To může vést k nesprávnému zařazení materiálů do výrobního procesu, technickým komplikacím nebo bezpečnostním rizikům.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Konzultace s odborníky nebo elektrotechniky při výběru materiálů. • Okamžité vyloučení komponent s nejasným původem nebo poškozením.
	<p>Sběrný dvůr Riziko biologické kontaminace Upcyklovatelné materiály mohly být skladovány v nevhodných podmínkách, kde došlo k výskytu plísní, bakterií nebo jiných mikroorganismů, což může ohrozit zdraví studentů.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vizualní kontrola a dezinfekce materiálů před použitím. • Používání ochranných pomůcek při manipulaci. • Vyloučení materiálů s viditelnou kontaminací. • Školení studentů v oblasti hygieny při práci s elektroodpadem.
	<p>Sběrný dvůr Riziko právních omezení Některé součástky mohou být klasifikovány jako nebezpečný odpad, což vyžaduje zvláštní zacházení, evidenci nebo povolení k manipulaci.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Konzultace s odborníky na odpadové hospodářství. • Ověření právního statusu materiálů před jejich použitím.
	<p>Sběrný dvůr Etické riziko využití materiálu bez souhlasu původního majitele: Využití elektrokomponent ze sběrného dvora může vyvolat etické otázky, pokud není zajištěno, že jejich další použití je v souladu s pravidly pro nakládání s vyřazeným majetkem.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preferování materiálů z oficiálních sběrných míst s jasně definovanými podmínkami předání. • Transparentní komunikace o původu materiálů v rámci výuky. • Vzdělávání studentů o etických aspektech práce s odpadem.
Vstup do výrobního procesu	<p>Riziko použití epoxidové pryskyřice a tvrdidla po době platnosti/trvanlivosti Použití chemických komponent po uplynutí doby použitelnosti může vést k nežádoucím změnám jejich fyzikálně-chemických vlastností, což negativně ovlivní kvalitu výrobku, bezpečnost práce i výsledek výukového procesu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrola data expirace při nákupu i před použitím. • Vedení evidence o skladování a trvanlivosti chemických látek. • Vzdělávání studentů v oblasti bezpečné práce s chemickými látkami. • Vytvoření systému pro pravidelnou kontrolu zásob.
	<p>Riziko nákupu malého množství epoxidové pryskyřice a tvrdidla Pokud je zakoupeno příliš malé množství epoxidové pryskyřice a tvrdidla, hrozí, že nebude možné dokončit výrobu všech plánovaných nástěnných hodin. To může vést k přerušení výrobního procesu, nutnosti opakovaného nákupu a zdržení výuky kvůli opětovnému vytváření.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Provést přesný výpočet potřebného množství materiálu podle počtu plánovaných hodin. • Zohlednit technologické ztráty a potřebu materiálu na případné opravy. • Vést evidenci spotřeby materiálu v průběhu výroby.

Skupina rizik	Definované riziko	Preventivní opatření
Vstup do výrobního procesu	<p>Riziko nákupu velkého množství epoxidové pryskyřice a tvrdidla</p> <p>Nadměrné množství materiálu může vést k jeho nevyužití v rámci projektu výroby nástěnných hodin. To představuje riziko zbytečných nákladů, problémů se skladováním a případného znehodnocení materiálu po uplynutí doby použitelnosti.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vypočítat potřebné množství epoxidové pryskyřice a tvrdidla na základě přesného počtu plánovaných hodin, objemu formy a technologických ztrát. • Zkontrolovat dobu použitelnosti materiálu a zohlednit ji při plánování nákupu. • Upřednostnit balení, která odpovídají reálné spotřebě v rámci výuky. • Vést evidenci spotřeby pro optimalizaci budoucích nákupů.
	<p>Riziko nákupu jiného typu epoxidové pryskyřice a tvrdidla</p> <p>Použití jiného typu epoxidové pryskyřice nebo tvrdidla, než bylo plánováno, může ovlivnit chemické vlastnosti směsi, dobu vytvrzování, výslednou pevnost, průhlednost nebo barevnost. To může negativně ovlivnit kvalitu nástěnných hodin a narušit technologický postup popsaný v projektu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Před nákupem ověřit přesné označení a technické parametry epoxidové pryskyřice a tvrdidla podle projektové dokumentace. • Vést evidenci použitých materiálů včetně šarže a výrobce pro zpětnou dohledatelnost.
	<p>Nákup jiné velikosti silikonové formy</p> <p>Použití silikonové formy s jinými rozměry, než bylo plánováno, může vést k chybnému odhadu potřebného množství epoxidové pryskyřice, změně tloušťky výrobku nebo deformaci designu nástěnných hodin. To může negativně ovlivnit kvalitu výrobku i plynulost výukového procesu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vypočítat objem formy a potřebné množství zalévací směsi podle projektové dokumentace. • Před nákupem ověřit rozměry formy a jejich soulad s plánovaným designem hodin.
	<p>Riziko nákupu jiného typu hodinového stroju</p> <p>Použití jiného typu hodinového stroju, než bylo plánováno, může vést k nekompatibilitě s otvorem ve formě, nesprávnému uchycení ručiček nebo odlišnému způsobu montáže. To může negativně ovlivnit funkčnost a estetiku nástěnných hodin a vyžadovat úpravy ve výrobním postupu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Před nákupem ověřit technické parametry hodinového stroju (rozměry, typ uchycení, délka osy) podle projektové dokumentace. • Vést evidenci použitých typů strojků a jejich kompatibility s formou a ručičkami.
Proces výroby	<p>Riziko nedostatečně očištěných materiálů od prachu, nečistot</p> <p>Zbytky prachu, mastnoty nebo jiných nečistot na povrchu upcyklovatelných materiálů mohou negativně ovlivnit přilnavost epoxidové pryskyřice, způsobit vizuální vady nebo narušit celistvost zalévací vrstvy. To snižuje kvalitu a estetickou hodnotu nástěnných hodin.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Zavést povinný krok důkladného mechanického a chemického čištění všech komponent před zaléváním. • Provádět vizuální kontrolu čistoty materiálů před jejich vložením do formy. • Používat antistatické utěrky.
	<p>Riziko zvolení nevhodného nástroje na řezání upcyklovatelného elektro materiálu</p> <p>Použití nevhodného nástroje (např. příliš hrubého, tupého nebo nekompatibilního s daným typem elektrokomponent) může vést k jejich mechanickému poškození, snížení přesnosti opracování nebo ztrátě funkčnosti. To negativně ovlivňuje kvalitu a využitelnost materiálu při výrobě nástěnných hodin.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Provést testování vhodnosti nástrojů na vzorcích upcyklovatelného materiálu před zahájením výroby. • Vytvořit metodický přehled doporučených nástrojů pro různé typy elektrokomponent. • Školit studenty v oblasti bezpečné a technicky správné manipulace s nástroji.

Skupina rizik	Definované riziko	Preventivní opatření
Proces výroby	<p>Bezpečnostní rizika vycházející z mechanického poškození upcyklovatelných materiálů z důvodu zvolení nevhodného nástroje na řezání</p> <p>Mechanické poškození upcyklovatelných elektrokomponent při použití nevhodného nástroje může vést k odlomení, prasknutí nebo odletu částí materiálu. Tyto situace představují riziko poranění studentů (např. pořezání, úraz očí) a ohrožují bezpečnost práce ve výuce.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Výběr vhodného nástroje podle typu a vlastností opracovávaného materiálu. • Používání osobních ochranných pomůcek (ochranné brýle, rukavice). • Školení studentů v oblasti bezpečné manipulace s nástroji a prevence úrazů.
	<p>Riziko zničení nástrojů v důsledku zvolení nevhodného nástroje na řezání</p> <p>Použití nevhodného nástroje při opracování upcyklovatelných elektrokomponent (např. příliš tvrdého nebo nevhodně tvarovaného) může vést k jeho poškození nebo zničení. To způsobuje zdržení výroby, zvyšuje náklady a narušuje plynulost výroky.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Stanovit kritéria pro výběr nástrojů podle typu materiálu (tvrdost, křehkost, struktura) a požadovaného způsobu pracování. • Vést přehled doporučených nástrojů pro jednotlivé typy elektrokomponent. • Školit studenty v oblasti správného používání a údržby nářadí.
	<p>Míchání epoxidové pryskyřice s tvrdidlem v neodpovídajících dávkách</p> <p>Nesprávné dávkování epoxidové pryskyřice a tvrdidla představuje technologické riziko, které může narušit průběh chemické reakce a ovlivnit kvalitu výsledného výrobku.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Řídit se technickým listem výrobce, který stanovuje přesný poměr míchání složek. • Používat vhodné měřicí pomůcky (např. digitální váhy, odměrky) s dostatečnou přesností. • Školit studenty v oblasti správného dávkování dvousložkových systémů a práce s technickou dokumentací.
	<p>Riziko posunu komponent během zalévání</p> <p>Při zalévání epoxidovou pryskyřicí se navíc mohou komponenty ve formě posunout, pokud nejsou správně fixovány, což narušuje plánovaný design a může ovlivnit kvalitu výsledného výrobku.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Stanovit pracovní postup zahrnující kontrolu stability a fixace komponent před zaléváním. • Používat vhodné techniky fixace (např. bodové lepení, mechanické uchycení).
	<p>Riziko vzniku značného množství vzduchových bublin z důvodu intenzivního míchání</p> <p>Příliš intenzivní míchání epoxidové pryskyřice s tvrdidlem může vést k zavzdušnění směsi, což negativně ovlivňuje kvalitu výsledného výrobku.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Míchat epoxidovou směs pomalu a plynule, aby se minimalizovalo zavzdušnění. • Školit studenty v oblasti správné techniky míchání dvousložkových systémů. • V případě potřeby nechat směs odstát před zaléváním, aby se vzduchové bubliny mohly uvolnit. • Použití horkovzdušné pistoli.
<p>Riziko nerespektování rozdílných fyzikálních vlastností upcyklovatelných materiálů</p> <p>Při zalévání epoxidovou pryskyřicí může dojít k nežádoucímu pohybu lehkých materiálů (např. korku), které se vznášejí oproti těžším elektro komponentům (např. osazeným deskám plošných spojů). Tento jev může narušit plánované uspořádání komponent ve formě, vést k estetickým vadám finálního výrobku, znehodnocení designu a nutnosti opakování výrobního kroku.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Testování chování jednotlivých materiálů v epoxidové směsi před finálním zaléváním. • Použití dočasných fixací (např. jemné sítky, přítlačné prvky) pro stabilizaci lehkých komponent během vytvrzování. • Úprava pracovního postupu s ohledem na rozdílnou hustotu použitých materiálů. • Vzdělávání studentů o fyzikálních vlastnostech materiálů a jejich vlivu na výrobní proces. 	

Skupina rizik	Definované riziko	Preventivní opatření
Proces výroby	<p>Riziko nedostatečného broušení a leštění povrchu výrobku</p> <p>Při nedostatečném nebo nevhodně provedeném broušení a leštění může dojít ke vzniku poškrábaného, nerovného nebo matného povrchu. Takový povrch negativně ovlivňuje estetickou kvalitu výrobku, může snižovat jeho funkční hodnotu a vést k nutnosti opakování výrobního kroku.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preventivní opatření: • Volba vhodné drsnosti brusného papíru pro jednotlivé fáze opracování. • Zavedení kontrolního bodu kvality povrchu před instalací hodinového mechanismu. • Vzdělávání studentů v oblasti technik broušení a leštění různých materiálů. • Použití finálního lešticího prostředku pro dosažení hladkého a lesklého povrchu.
	<p>Riziko nevhodného rozměru otvoru pro hodinový mechanismus</p> <p>Při vrtání otvoru pro hodinový strojek může dojít k vytvoření příliš malého nebo příliš velkého otvoru. Malý otvor znemožní instalaci mechanismu bez poškození výrobku, zatímco příliš velký otvor může způsobit nestabilitu strojku, estetické vady nebo nutnost dodatečných úprav. Oba případy mohou vést ke snížení kvality finálního výrobku a k opakování výrobního kroku.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Přesné měření rozměrů hodinového strojku před vrtáním. • Použití šablony nebo předvrtaného vzoru pro zajištění správné velikosti otvoru. • Vzdělávání studentů v oblasti práce s elektrickým nářadím a technik vrtání. • Zavedení kontrolního bodu před instalací strojku.
	<p>Riziko poškození hodinového mechanismu při nevhodné manipulaci</p> <p>Při neodborné nebo nepozorné manipulaci s hodinovým strojkem (např. při vrtání otvoru, instalaci nebo nastavování ručiček) může dojít k jeho mechanickému poškození. Takové poškození může vést k nefunkčnosti výrobku, nutnosti výměny komponentu a ztrátě času i materiálu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vzdělávání studentů v oblasti správné manipulace s jemnými mechanickými součástkami. • Použití vhodného nářadí a pracovních postupů při instalaci strojku. • Zavedení kontrolního bodu funkčnosti mechanismu po jeho instalaci. • Práce pod dohledem pedagoga nebo technika při kritických fázích montáže.
Výstup	<p>Riziko nesprávného zapojení nebo instalace hodinového mechanismu</p> <p>Při nesprávném zapojení nebo instalaci hodinového strojku může dojít k tomu, že ručičky hodin se pohybují opačným směrem. Tento jev způsobuje nefunkčnost výrobku, narušuje jeho praktické využití a může vést k nutnosti výměny mechanismu nebo opakování výrobního kroku.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vzdělávání studentů v oblasti správné instalace hodinových mechanismů. • Testování funkčnosti strojku před finální montáží ručiček. • Použití ověřených komponent s jasnou technickou dokumentací. • Konzultace s technikem nebo pedagogem při zapojování mechanismu.
	<p>Riziko nedodržení preventivních opatření</p> <p>Pokud nejsou dodržena navržená preventivní opatření (např. používání ochranných pomůcek, kontrola materiálů, správné pracovní postupy), může dojít k technickým komplikacím, snížení kvality finálního výrobku, ohrožení bezpečnosti studentů a nutnosti opakování výrobních kroků. Nedodržení opatření zároveň snižuje efektivitu výuky a narušuje plánovaný výstup projektu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Zavedení kontrolních bodů v jednotlivých fázích výroby. • Pravidelné připomínání preventivních zásad během výuky. • Aktivní zapojení studentů do identifikace a dodržování opatření. • Reflexe dodržování opatření jako součást závěrečného hodnocení projektu.

Skupina rizik	Definované riziko	Preventivní opatření
Výstup	<p>Riziko absence bezpečnostních a materiálových listů k použitým látkám Bez dostupné dokumentace může dojít k nesprávnému zacházení s chemickými látkami, což ohrožuje zdraví studentů i životní prostředí.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vyžadovat předložení bezpečnostních a technických listů k epoxidové pryskyřici, tvrdidlu a dalším použitým látkám (databáze). • Vzdělávat studenty v práci s technickou dokumentací a zásadami chemické bezpečnosti.
	<p>Riziko nezařazení odpadu dle EWC (European Waste Catalogue) Pokud není odpad správně klasifikován, může dojít k porušení legislativy a ekologickým rizikům při jeho likvidaci. Správné zařazení odpadu podle Evropského katalogu odpadů (EWC) je klíčové pro dodržení právních předpisů a bezpečné nakládání s odpady. Tento katalog byl definován rozhodnutím Evropské komise č. 2000/532/EC, které stanovuje seznam odpadů v souladu se směrnicemi Rady 75/442/EHS a 91/689/EHS o odpadech a nebezpečných odpadech (EUROPEAN COMMISSION, 2000).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Zařazovat vzniklý odpad podle EWC již ve fázi návrhu a realizace projektu. • Seznamovat studenty s legislativními požadavky na klasifikaci odpadu dle rozhodnutí Evropské komise č. 2000/532/EC. • Konzultovat klasifikaci odpadu s odborníkem na odpadové hospodářství nebo specialistou na environmentální legislativu. • Začlenit kontrolu správného zařazení odpadu do závěrečného hodnocení projektu. • Ukládat dokumentaci o klasifikaci odpadu do sdílené databáze projektu. • Vzdělávat studenty v oblasti environmentální legislativy, technické dokumentace a odpovědného nakládání s odpady.
Příjemce výstupu	<p>Riziko nedodržení reflexí studentů po ukončení projektu Pokud studenti neprovedou závěrečnou reflexi projektu, může dojít k opomenutí důležitých poznatků, nedostatečnému vyhodnocení pracovních postupů a k omezenému rozvoji kritického myšlení. Absence reflexe snižuje pedagogickou hodnotu projektu, komplikuje zpětnou vazbu pro pedagoga a omezuje možnost zlepšení budoucích výukových aktivit.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Zařazení reflexe jako povinné součásti projektového výstupu. • Poskytnutí strukturovaného formuláře nebo otázek pro vedení reflexe. • Vedení společné diskuse o průběhu projektu a jeho výsledcích.
	<p>Student Riziko podcenění rizik při práci s materiály ze strany studenta Student může při práci s technickými nebo chemickými materiály (např. elektroodpad, epoxidová pryskyřice) podcenit rizika spojená s manipulací a nedostatečně používat osobní ochranné pomůcky (např. rukavice, brýle, respirátor). To může vést k úrazům, zdravotním komplikacím nebo kontaminaci pracovního prostředí, a zároveň negativně ovlivnit kvalitu výstupu projektu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Povinné školení studentů v oblasti bezpečnosti práce před zahájením projektu. • Pravidelná kontrola používání ochranných pomůcek během výuky. • Zavedení reflexe bezpečnostních postupů jako součást hodnocení projektu. • Vedení studentů k odpovědnému přístupu prostřednictvím diskuse o reálných rizicích.

Skupina rizik	Definované riziko	Preventivní opatření
Příjemce výstupu	<p>Student Riziko frustrace studenta v důsledku technických komplikací během výroby</p> <p>Student se může během realizace projektu setkat s technickými problémy (např. nefunkční komponenty, chyby v pracovním postupu, estetické vady), které vedou k frustraci, snížení motivace a negativnímu postoji k výuce. Taková frustrace může ovlivnit kvalitu výstupu, narušit týmovou spolupráci a omezit rozvoj praktických dovedností.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Průběžná technická podpora, konzultace a komunikace během výroby. • Vedení studentů k řešení problémů formou diskuse a hledání alternativ. • Poskytnutí rezervních komponent a materiálů pro případ selhání. • Zařazení reflexe emocí a zkušeností jako součást závěrečného hodnocení projektu.
	<p>Pedagog Riziko nedostatečné metodické přípravy pedagoga při realizaci projektu</p> <p>Pokud pedagog není dostatečně metodicky připraven na vedení interdisciplinárního projektu s využitím upcyklovatelných materiálů, může dojít k nejasnostem v pracovním postupu, nedostatečné podpoře studentů a snížení kvality výuky. Chybějící metodická opora může vést k organizačním komplikacím, neefektivnímu řízení rizik a omezenému rozvoji kompetencí studentů.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vytvoření metodických materiálů a pracovních návodů pro jednotlivé fáze projektu. • Vzdělávání pedagogů v oblasti projektového řízení a práce s technickými materiály. • Sdílení zkušeností mezi pedagogy formou workshopů nebo komunitní praxe. • Konzultace s odborníky na technické a environmentální aspekty výuky.
	<p>Pedagog Riziko náročnosti interdisciplinární výuky a nedostatečných kompetencí pedagoga</p> <p>Interdisciplinární výuka, která propojuje technické, environmentální a kreativní prvky, klade vysoké nároky na odborné, metodické i organizační kompetence pedagoga. Pokud pedagog není dostatečně připraven na vedení takto komplexního projektu, může dojít k nejasnostem ve výuce, snížení kvality výstupu a omezení rozvoje studentů v klíčových oblastech.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vzdělávání pedagogů v oblasti interdisciplinárních přístupů a projektového řízení. • Tvorba podpůrných metodických materiálů a sdílení osvědčených postupů. • Spolupráce s odborníky z praxe a mezioborová konzultace. • Reflexe výukového procesu a pravidelné hodnocení pedagogických kompetencí.
	<p>Odborná veřejnost Riziko nesprávné interpretace výsledků projektu odbornou veřejností</p> <p>Pokud nejsou výsledky studentského projektu dostatečně odborně vysvětleny, může dojít k jejich nesprávné interpretaci ze strany odborné veřejnosti. Nejasnosti v metodice, nedostatečné zdůvodnění výběru materiálů nebo absence kontextu mohou vést k podcenění přínosu projektu, kritice jeho realizace nebo k nepochopení jeho vzdělávacího a environmentálního významu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Důsledné zpracování metodické části projektu s vysvětlením výukových cílů. • Transparentní komunikace o výběru materiálů, pracovních postupech a výstupech. • Zařazení odborné reflexe jako součást prezentace výsledků.

Skupina rizik	Definované riziko	Preventivní opatření
Příjemce výstupu	<p>Široká veřejnost Riziko nedostatečné informovanosti širší veřejnosti o principech projektu</p> <p>Pokud nejsou principy projektu (např. upcyklace, environmentální vzdělávání, technické postupy) dostatečně vysvětleny, může širší veřejnost nesprávně interpretovat jeho význam a přínos. Nedostatek informací může vést k podcenění vzdělávací hodnoty projektu, snížení zájmu o jeho výsledky nebo k negativnímu vnímání jeho ekologického dopadu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Transparentní komunikace o cílech, metodách a výstupech projektu. • Vytvoření informačních materiálů (např. plakát, prezentace, webová stránka) pro veřejnost. • Zapojení studentů do popularizace projektu formou výstav, workshopů nebo sociálních médií. • Reflexe veřejného vnímání projektu jako součást závěrečného hodnocení.

Tab. č. 1. Analýza rizik výroby hodin z upcyklovatelných materiálů

Tab. 1 slouží především jako ilustrativní nástroj a metodický podklad pro analýzu rizik a jejich následné vyhodnocení v rámci výukového procesu. V případě, že se vyučující rozhodne využívat danou databázi rizik pravidelně, zejména v kontextu projektově orientované výuky, je vhodné, aby byla rizika systematicky vyhodnocována a tento proces probíhal ve spolupráci se studenty. Po ukončení analýzy je nezbytné stanovit kritéria kontroly, provést hodnocení a bodově ohodnotit ta rizika, která nejvýrazněji ovlivňují bezpečnost práce a kvalitu výsledného výrobku. Tento přístup odpovídá doporučením uvedeným v odborné literatuře (Tomášková, Krotký, & Honzíková, 2025; Tomášková, Krotký, & Honzíková, 2025).

2.3 Metodika hodnocení rizik v rámci výukového projektu

Pro účely systematického řízení rizik ve studentském projektu byla použita bodová metoda hodnocení, která vychází z principů FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) a její designové varianty DFMEA (Design FMEA). Tyto metody se běžně využívají v technické praxi pro identifikaci potenciálních selhání, jejich příčin a dopadů, a umožňují navrhnout preventivní opatření již ve fázi návrhu nebo realizace produktu (Wu, Liu & Nie, 2021; Rasu, 2023).

V rámci výukového prostředí byla zvolena zjednodušená forma hodnocení, která pracuje se dvěma základními parametry: P (pravděpodobnost výskytu rizika) – odhad, jak často může dané riziko nastat v rámci výukového procesu.; D (dopad rizika na kvalitu výrobku nebo bezpečnost práce) – míra závažnosti následků, pokud riziko nastane.

Výsledné skóre je určeno součinem těchto dvou hodnot ($P \times D$) a slouží ke kategorizaci rizik do tří úrovní:

- **Nízká rizika (1–8 bodů):** rizika s nízkou pravděpodobností výskytu a/nebo nízkým dopadem; obvykle nevyžadují zásadní zásahy, ale je vhodné je monitorovat;
- **Střední rizika (9–12 bodů):** rizika, která mohou ovlivnit kvalitu výstupu nebo bezpečnost práce; vyžadují preventivní opatření a kontrolní mechanismy;
- **Vysoká rizika (13–25 bodů):** rizika s vysokou pravděpodobností a závažnými dopady; vyžadují okamžitou pozornost, úpravu pracovního postupu nebo vyloučení daného materiálu či technologie.

Riziko projektu	P	D	P x D	Kategorie
Kvalita materiálů	3	4	12	Střední
Nesprávný poměr pryskyřice	2	2	10	Střední
Tvorba vzduchových bublin	4	3	12	Střední
Bezpečnost	2	5	10	Střední
Zpoždění ve výrobních krocích	3	4	12	Střední
Výška formy	2	4	8	Nízká
Krátká doba vytvrzování	2	4	8	Nízká
Pohyb součástek během zalévání	4	4	16	Vysoká
Instalace hodinového mechanismu	3	4	12	Střední
Malý otvor pro hodinový mechanismus	2	3	6	Nízká
Velký otvor pro hodinový mechanismus	3	5	15	Vysoká
Ručky hodin se pohybují opačným směrem	1	5	5	Nízká

Tab. č. 2. Vyhodnocení rizik výroby hodin z upcyklovatelných materiálů
(Tomášková, Krotký, & Honzík, 2025)

Tento přístup umožňuje prioritizaci preventivních opatření a zároveň podporuje rozvoj technického myšlení studentů. Metoda je vhodná pro vzdělávací prostředí, protože je srozumitelná, přenositelná do praxe a podporuje aktivní zapojení studentů do procesu identifikace a hodnocení rizik.

Tab. 2 prezentuje bodové ohodnocení vybraných rizik spojených s výrobním procesem hodin z upcyklovatelných materiálů, přičemž hodnocení vychází ze dvou základních parametrů: pravděpodobnosti výskytu rizika (P) a dopadu rizika na proces výroby (D) (Tomášková, Krotký, & Honzík, 2025; Tomášková, Krotký, & Honzík, 2025).

2.4 Kompetence a zkušenosti očekávané u pedagogů v rámci řešení studentských projektů

Jedno z rizik, kterému je nutno se věnovat, je náročnost interdisciplinární výuky a kompetence pedagogů, kteří řeší se studenty studentské projekty (viz Tab. 1). Interdisciplinární přístup vyžaduje od vyučujících nejen odborné znalosti v oblasti techniky, ekologie a projektového řízení, ale také schopnost efektivně integrovat tyto oblasti do výukového procesu. Pedagogové musí být připraveni vést studenty napříč různými fázemi projektu od plánování přes realizaci až po reflexi a zároveň podporovat jejich samostatnost, kreativitu a kritické myšlení. Vzhledem k tomu, že práce s upcyklovatelnými materiály často zahrnuje neznámé nebo netradiční komponenty, je důležité, aby pedagogové disponovali základními znalostmi z oblasti materiálového inženýrství, bezpečnosti práce a environmentální legislativy. Zároveň je klíčová jejich schopnost facilitovat týmovou spolupráci, řešit konflikty a motivovat studenty k odpovědnému přístupu k práci. V kontextu projektově orientované výuky je rovněž nezbytné, aby pedagogové ovládali principy projektového managementu, včetně plánování, řízení rizik, dokumentace a evaluace. Tyto kompetence jim umožňují nejen efektivně řídit výukové projekty, ale také poskytovat studentům autentickou zkušenost s reálnými výzvami, které je mohou potkat v profesní praxi.

Rozvoj těchto kompetencí by měl být systematicky podporován v rámci dalšího vzdělávání pedagogických pracovníků, a to jak formou školení, tak prostřednictvím sdílení dobré praxe a mezioborové spolupráce.

3 Diskuse výsledků v kontextu předchozích studií

Výsledky prezentovaného výzkumu potvrzují, že propojení projektové výuky s environmentálními principy významně podporuje rozvoj technických, kreativních a kritických kompetencí studentů. Tento závěr koresponduje s tvrzením Yasin & Rahman (2011), kteří označují problémově orientovanou projektovou výuku za jeden z neúčinnějších přístupů k začleňování principů udržitelného rozvoje do vzdělávání. Podstata tohoto konceptu spočívá v řešení reálných problémů, které studenti sami identifikují, a v následné realizaci projektů zaměřených na praktickou změnu. Takto strukturovaný proces podporuje hlubší porozumění propojení environmentálních, sociálních a ekonomických aspektů a současně rozvíjí generické kompetence, jako jsou týmová spolupráce, efektivní komunikace, analytické

dovednosti a schopnost argumentace. Yasin & Rahman (2011) dále zdůrazňují, že tento přístup umožňuje integraci klíčových dimenzí doporučených Agendou 21 celoživotního učení, interdisciplinárního přístupu, systémového myšlení, partnerství, multikulturní perspektivy a posilování odpovědnosti studentů do kurikula vysokých škol. Zapojení studentů do autentických situací a komunitních projektů zvyšuje jejich motivaci, podporuje sebereflexi a umožňuje aplikaci teoretických znalostí v praxi, čímž se posiluje dlouhodobá retence poznatků.

Podobně Ngo & Chase (2021) uvádějí, že projektová výuka spojená s řešením reálných technologických úkolů významně zvyšuje motivaci studentů a jejich pozitivní postoj k udržitelnosti. Autoři zdůrazňují, že propojení teoretických znalostí s praktickými zkušenostmi, zejména v mezinárodním kontextu, vede k rozvoji multidisciplinárních dovedností, sociální odpovědnosti a schopnosti spolupracovat v různorodých týmech.

Naše zjištění o významu praktické práce s upcyklovatelnými materiály korespondují s výsledky Santos et al. (2023), kteří prokázali, že zapojení studentů do tvorby funkčních výrobků v rámci projektů vede k hlubšímu pochopení environmentálních souvislostí a podporuje rozvoj kritického myšlení. Autoři zdůrazňují, že projektově orientované scénáře, založené na autentických problémech, umožňují studentům propojit teoretické znalosti s praktickými dovednostmi, rozvíjet schopnost argumentace a aktivně se podílet na řešení otázek veřejného zájmu. Tento přístup navíc podporuje spolupráci mezi školami, komunitami a odborníky, čímž se vytváří otevřené vzdělávací prostředí, které posiluje odpovědnost studentů za vlastní učení a jejich schopnost aplikovat vědecké poznatky v praxi.

Stejný trend potvrzují Reich & Vermeyen (2025), kteří zdůrazňují, že integrace principů cirkulární ekonomiky a konceptu „life cycle thinking“ do projektové výuky rozšiřuje perspektivu studentů nad rámec samotného návrhu a výroby. Studenti se učí analyzovat celý životní cyklus produktu, hodnotit environmentální dopady jednotlivých fází a zohledňovat obchodní modely, servisní strategie či možnosti recyklace. Tento proces je náročný, ale vysoce edukativní a vede k uvědomění si složitých vazeb mezi technickými, ekonomickými a ekologickými aspekty a k rozvoji schopnosti kriticky zvažovat kompromisy mezi environmentální a ekonomickou udržitelností. Autoři upozorňují, že začlenění těchto principů do projektové výuky nejen zvyšuje technické kompetence studentů, ale také podporuje jejich kreativitu, interdisciplinární spolupráci a připravenost řešit komplexní problémy reálného světa.

Specifickým přínosem našeho projektu je systematická analýza rizik, která se v kontextu technického vzdělávání objevuje spíše výjimečně. Zatímco většina studií (např. Emblen-Perry, 2022; Ásványi & Gedeon, 2025) se zaměřuje na metodické aspekty projektové výuky a její vliv na postoje studentů, náš přístup rozšiřuje tento rámec o prvky bezpečnosti práce a hodnocení rizik pomocí bodové metody inspirované FMEA. Tento postup je v souladu s doporučeními pro průmyslovou praxi (Wu, Liu & Nie, 2021; Rasu, 2023), avšak jeho adaptace do vzdělávacího prostředí představuje inovativní prvek. Wu, Liu & Nie (2021) zdůrazňují, že FMEA je osvědčeným nástrojem pro identifikaci potenciálních selhání, analýzu jejich příčin a dopadů a pro návrh preventivních opatření již ve fázi návrhu a výroby. V průmyslové praxi se tento přístup považuje za klíčový pro zajištění spolehlivosti a minimalizaci rizik, protože umožňuje systematické hodnocení pravděpodobnosti výskytu a závažnosti následků. Rasu (2023) doplňuje, že varianty DFMEA a PFMEA jsou nezbytné pro komplexní řízení rizik, kde první se zaměřuje na konstrukční fázi, druhá na výrobní procesy a jejich implementace vyžaduje mezioborovou spolupráci, jasně definované postupy a pravidelné revize. Přenos těchto principů do vzdělávacího prostředí je inovativní zejména proto, že studenti získávají nejen technické znalosti, ale také kompetence v oblasti predikce a prevence rizik, které jsou běžně vyžadovány v průmyslové praxi. Bodová metoda inspirovaná FMEA, aplikovaná na školní projekty, učí studenty hodnotit rizika na základě pravděpodobnosti a dopadu, kategorizovat je a navrhovat preventivní opatření. Tento přístup podporuje kritické myšlení, schopnost argumentace a propojuje technické vzdělávání s reálnými požadavky na bezpečnost a kvalitu, čímž se vytváří most mezi akademickým prostředím a průmyslovými standardy.

Dalším rozdílem oproti předchozím studiím je důraz na kreativní využití elektroodpadu a korku, což odpovídá trendům popsáným Sodje et al. (2025), kteří zdůrazňují význam upcyklace pro udržitelné výrobní procesy. Autoři uvádějí, že upcyklace představuje strategický přístup k transformaci materiálů na konci životního cyklu na produkty s vyšší ekonomickou, environmentální nebo sociální hodnotou. Tento koncept přesahuje pouhou estetickou úpravu odpadu – zahrnuje optimalizaci návrhu, využití digitálních technologií a integraci principů cirkulární ekonomiky, aby se minimalizovala spotřeba primárních zdrojů a snížilo množství odpadu. Naše výsledky ukazují, že tento přístup lze efektivně implementovat i do výuky, čímž se propojuje environmentální výchova s praktickými technickými dovednostmi. Studenti se při práci s upcyklovatelnými materiály učí nejen základním technologickým postupům, ale také principům udržitelného designu,

hodnocení životního cyklu a odpovědného nakládání se zdroji. Tím se rozvíjí jejich kreativita, schopnost řešit komplexní problémy a orientace na inovace, které jsou v souladu s požadavky moderní průmyslové praxe. Zapojení upcyklace do projektové výuky tak přináší dvojitý přínos, podporuje technické kompetence a současně formuje ekologicky odpovědné postoje budoucích odborníků.

Celkově lze konstatovat, že naše zjištění potvrzují závěry předchozích studií o přínosu projektové výuky pro rozvoj kompetencí v oblasti udržitelnosti, zároveň však přinášejí nové poznatky o významu řízení rizik a metodické podpory pedagogů při realizaci interdisciplinárních projektů.

4 Závěr

Článek ukazuje, že kreativní využití upcyklovatelných materiálů ve výuce technických předmětů představuje efektivní nástroj pro rozvoj technických, environmentálních i projektových kompetencí studentů. Projekt výroby nástěnných hodin z elektroodpadu a korku demonstruje, jak lze propojit principy cirkulární ekonomiky s praktickým vzděláváním. Klíčovým přínosem je nejen rozvoj dovedností, ale také zvýšení povědomí o udržitelnosti, bezpečnosti práce a odpovědném přístupu k materiálům.

Systematická analýza rizik, která je součástí výukového procesu, přispívá k vyšší kvalitě výstupů a zároveň podporuje kritické myšlení studentů. Významnou roli v tomto procesu hrají pedagogové, jejichž kompetence v oblasti interdisciplinární výuky, projektového řízení a bezpečnosti práce jsou zásadní pro úspěšnou realizaci podobných projektů.

S ohledem na rozsah předloženého výzkumu a jeho strukturované zaměření bude v rámci navazujících odborných aktivit rozšířena analýza o kapacitní možnosti školních institucí, zejména z hlediska časových dotací, materiálního zázemí a personální připravenosti. Cílem je navrhnout diferencované varianty metodiky analýzy rizik, které budou reflektovat specifika výuky na základních školách, gymnáziích a středních odborných školách s technickým zaměřením. Tento krok povede k vyšší míře aplikovatelnosti navrženého modelu v praxi a umožní jeho adaptaci v souladu s reálnými podmínkami jednotlivých typů vzdělávacích prostředí.

Na základě získaných poznatků lze doporučit následující směry dalšího rozvoje:

- Rozšíření databáze rizik o nové typy materiálů a výrobních postupů, které se objevují v rámci studentských projektů.
- Vývoj metodických materiálů pro pedagogy, které jim usnadní integraci analýzy rizik do výuky a podpoří jejich profesní rozvoj v oblasti udržitelného technického vzdělávání.
- Zavedení digitálních nástrojů pro sledování a vyhodnocování rizik v reálném čase během výuky.
- Mezinárodní spolupráce s dalšími vzdělávacími institucemi, které se věnují podobným tématům, s cílem sdílet příklady dobré praxe a společně rozvíjet inovativní přístupy.
- Zapojení studentů do výzkumu v oblasti materiálového inženýrství, bezpečnosti a ekodesignu, čímž se posílí jejich motivace a propojení výuky s reálnými výzvami současného světa.
- S ohledem na požadavky environmentálního řízení lze doporučit také systematické využívání klasifikace odpadů dle EWC a začlenění bezpečnostní dokumentace do výukových projektů.

5 Poděkování

Autoři děkují studentům předmětu Projekty a konstrukční materiály z Fakulty pedagogické Západočeské univerzity, zejména Michalu Měsíčkovi a Pavlu Odvárkovi, za jejich aktivní účast, kreativní přístup a technickou zručnost při realizaci projektu výroby hodin z recyklovaných materiálů.

6 Literatura

- Yasin, R. M., & Rahman, S. (2011). Problem oriented project based learning (POPBL) in promoting education for sustainable development. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15, 289–293. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.03.088>
- Ngo, T. T., & Chase, B. (2021). Students' attitude toward sustainability and humanitarian engineering education using project-based and international field learning pedagogies. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 22(2), 254–273. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-06-2020-0214>
- Emblen-Perry, K. (2022). Auditing a case study: Enhancing case-based learning in education for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 381, 34944. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134944>

- European Commission. (n.d.). Waste electrical and electronic equipment (WEEE). European Commission. Retrieved June 15, 2025, from https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en
- Santos, C., Rybska, E., Klichowski, M., Jankowiak, B., Jaskulska, S., Domingues, N., Carvalho, D., Rocha, T., Paredes, H., Martins, P., & Rocha, J. (2023). Science education through project-based learning: A case study. *Procedia Computer Science*, 219, 1713–1720. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.465>
- Arpaci, I., Al-Sharafi, M. A., & Mahmoud, M. A. (2024). Factors predicting green behavior and environmental sustainability in autonomous vehicles: A deep learning-based ANN and PLS-SEM approach. *Research in Transportation Business & Management*, 57, 101228. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2024.101228>
- Reich, R. H., & Vermeyen, V. (2025). Integrating the circular economy and life cycle thinking into project-based learning of engineering students. *Procedia Computer Science*, 253, 1972–1980. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.259>
- Ásványi, K., & Gedeon, E. (2025). Enhancing sustainability consciousness in higher education: Short- and long-term impacts of a project-based learning approach. *The International Journal of Management Education*, 23, 101235. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2025.101235>
- Tomášková, T., Krotký, J., & Honzík, J. (2025). M250189 An innovative approach to teaching sustainable development at teacher training colleges through a project for the secondary use of recycled electrical materials. Paper presented at the 7th Eurasian Conference on Educational Innovation (ECEI 2025), Bali, Indonesia, 7–9 February 2025. <https://doi.org/10.3390/engproc2025103002>
- Tomášková, T., Krotký, J., & Honzík, J. (2025). Innovative approach to teaching sustainable development at teacher training college through project for secondary use of recycled electrical materials. *Engineering Proceedings*, 103(1), 2. <https://doi.org/10.3390/engproc2025103002>
- Tomášková, T. (2025, October 17–18). Recycling of electrical materials as a tool for environmental education of future teachers. 26. International Symposium Project Work. Learning by the model PUD BJ "From idea to the product" and "From idea to the project". Portorož, Slovenia. Manuscript submitted for publication.
- Tomášková, T., Honzík, J., & Orosová, R. (2025). Developing STEM Competencies Through Environmentally Oriented Project Work. *Edukácia*. Manuscript submitted for publication. Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Košice.
- Wu, Z., Liu, W., & Nie, W. (2021). *Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112, 1409–1436. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06425-0>
- Sakthivel Rasu (2023). *The Role of DFMEA & PFMEA in Ensuring Product Safety and Reliability*. *ESP International Journal of Advancements in Computational Technology*, 1(2), 126–130.
- Tomášková, T., Duda, D., Abrhám, V., Yanovych, V., & Uruba, V. (2023). *The concept, approach and benefits of energy auditing and its impact on the environment*. *MATEC Web of Conferences*, 383, 00020. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202338300020>
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Houghton Mifflin. https://ia902801.us.archive.org/13/items/fp_Silent_Spring-Rachel_Carson-1962/Silent_Spring-Rachel_Carson-1962.pdf
- United Nations (1972). Report of the United Nations Conference on the Human Environment - Stockholm, 5-16 June 1972. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/30829>
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future (A/42/427)*. United Nations. <https://digitallibrary.un.org/record/139811>

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1990). Climate change: The IPCC scientific assessment. Report of the IPCC Working Group I. IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_I_full_report.pdf
- United Nations. (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
- United Nations. (1992). Agenda 21: Programme of action for sustainable development. United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), Rio de Janeiro, Brazil, 3–14 June 1992. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>
- United Nations. (1997). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/CP/1997/L.7/Add.1. <https://digitallibrary.un.org/record/250111?v=pdf>
- United Nations. (2000). United Nations Millennium Declaration (A/RES/55/2). United Nations General Assembly. https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_55_2.pdf
- United Nations. (2002). Johannesburg Declaration on Sustainable Development. World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, South Africa. <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n23/257/51/pdf/n2325751.pdf>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2005). International implementation scheme for the United Nations Decade of Education for Sustainable Development (2005–2014). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. https://unesdoc.unesco.org/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_8df4f05c-78d6-4352-8085-6776529e18b5?_=130632eng.pdf
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (n.d.). The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals. <https://social.desa.un.org/2030agenda-sdgs>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). Paris Agreement. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). Chapter 4: Sea level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities. In Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. IPCC. <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-4-sea-level-rise-and-implications-for-low-lying-islands-coasts-and-communities/>
- United Kingdom (UK) Government. (2021). COP26 Sustainability Report. Arup. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/COP26-Sustainability-Report_Final.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2025, February 24). IPCC gathers in Hangzhou to agree on outlines of the key contributions to the Seventh Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/2025/02/24/ipcc-62-hangzhou/>
- Hrazdilová Bočková, K. (2015). What game theory and poker can teach us in project management. *Procedia Economics and Finance*, 34, 97–104. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01606-8](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01606-8)
- Pollack, J., Helm, J., & Adler, D. (2018). What is the Iron Triangle, and how has it changed? *International Journal of Managing Projects in Business*, 11(2), 527–547. <https://ssrn.com/abstract=3232647>
- Wadhwa, K. (2023). *Sustainable fashion: A study on consumer perception and behavior* [Bachelor's thesis, Theseus.fi]. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/865913/Wadhwa_Kanika.pdf?sequence=2&isAllowed=y

- Tomášková, T., Honzíková, J., Krotký J. (2024). Nová cesta k výuce trvale udržitelného rozvoje na školách. *Inovace a technologie ve vzdělávání, Innovations and Technologies in Education (ITEV)*, č. 1, s. 29-37. ISSN: 2571-2519.
- EUROPEAN COMMISSION. *Commission Decision of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste (2000/532/EC)* [online]. EUR-Lex, 2000 [cit. 2025-11-02]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2000/532/2015-06-01/eng>
- Sodje, V., Singh, M., Crawford, J., Ko, J., Badurdeen, F., & Jawahir, I. S. (2025). *Upcycling for Sustainable Manufacturing: Insights and New Methods*. In H. Kohl et al. (Eds.), *GCSM 2024, Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 856–863. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-93891-7_94