



Tvorba experimentálních úloh propojujících přírodní vědy a okolní svět

Pokyny pro návrh experimentů STEperiMents



Tato publikace vznikla za podpory programu Erasmus+ Evropské unie. Vychází z projektu STExperiMents (KA220-SCH-34903829). Podpora Evropské komise při vytvoření této publikace nepředstavuje schválení jejího obsahu, který odráží výhradně názory autorů, a Komise nenese odpovědnost za jakékoli využití informací v ní obsažených.



Erasmus+

Projektový tým

Univerzita Karlova, Česká republika (koordinátor): Martin Rusek, Dominika Koperová, Tadeáš Matěcha, Marta Kuhnová

University of Jyväskylä, Finsko: Maria Fisk, Kristof Fenyvesi, Josephine Lau

Bahçeşehir University, Türkiye: Nilay Ozturk, Sezin Esfer, Ayse Gul Celenk, Mehmet Sencer Corlu

Johannes Kepler University, Rakousko: Cecília Russo, Abril Armenta-Franco, Eva Ulbrich, Zsolt Lavicza

Obrázky: od účastníků projektového týmu

Copyright: CC BY-NC-ND

Další zdroje a informace o projektu STExperiMents jsou dostupné na:

<https://STExperiMents.pdf.cuni.cz/>

Pro citaci této publikace použijte:

Armenta-Franco, A., Celenk, A. G., Corlu, M. S., Esfer, S., Fenyvesi, K., Fisk, M., Koperová, D., Kuhnová, M., Lau, J., Lavicza, Z., Matěcha, T., Ozturk, N., Rusek, M., Russo, C., Ulbrich, E. (2025). *Creating Experiments to connect Science and the Outside World: STExperiMents Design Guidelines*. Deliverable of the Erasmus+ project STExperiMents KA220-SCH-34903829. Prague: Faculty of Education, Charles University.

Shrnutí

Tento dokument obsahuje soubor pokynů pro návrh, které popisují, jak jsou v rámci projektu STExperiMents vytvářeny experimentální učební úlohy (experimenty). Cílem je podpořit učitele, vzdělavatele a projektové partnery při tvorbě strukturovaných experimentů, které propojují vědecké pojmy s reálnými kontexty a zároveň zůstávají proveditelné ve školním prostředí i v prostředí workshopů.

Pokyny byly vytvořeny prostřednictvím spolupráce v rámci projektového konsorcia. Úvodní brainstorming, diskuse mezi partnery a analýza existujících přístupů ke STEM a badatelsky orientované výuce byly využity k identifikaci zastřešujících principů návrhu vzdělávacích experimentů. Tyto principy byly převedeny do strukturovaného rámce, který podporuje vývoj, dokumentaci a porovnávání experimentálních aktivit napříč zapojenými zeměmi.

Výsledný rámec obsahuje klíčové dimenze návrhu experimentů, včetně kontextové relevance, konceptuálního zaměření, dostupnosti materiálů, strategií měření a pozorování a příležitostí k reflexi a diskusi. Tyto dimenze mají zajistit, aby byly experimenty vědecky smysluplné, pedagogicky přístupné a přizpůsobitelné různým vzdělávacím prostředím a zároveň podporovaly cíle projektu.

Dokument poskytuje šablonu pro popis experimentů a ukazuje, jak lze principy návrhu uplatnit v praxi při podpoře realizace ve školách. Tato struktura pomáhá partnerům dokumentovat experimentální aktivity srovnatelným způsobem a usnadňuje výměnu nápadů v rámci projektu.

Pokyny mají podporovat tvorbu nových experimentálních úloh i úpravy již existujících aktivit. Dokument přispívá k jednotnému přístupu k experimentálnímu učení v rámci projektu STExperiMents a prostřednictvím sdíleného rámce podporuje tvorbu přenositelných vzdělávacích postupů.



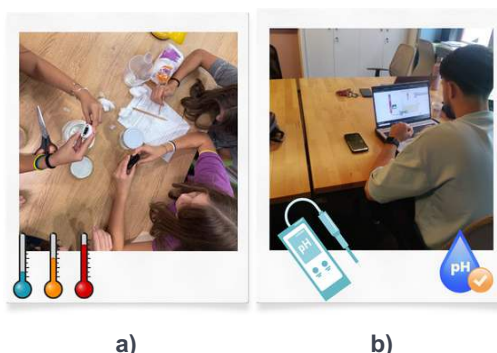
ÚVOD: PROJEKT STEXPERIMENTS.....	5
KONTEXT PROJEKTU.....	6
CÍLE PROJEKTU.....	6
CÍLOVÝ VÝSTUP	7
STEM A STEAM	8
VZDĚLÁVACÍ KONTEXT V ZAPOJENÝCH ZEMÍCH.....	9
NÁRODNÍ PRIORITY STEM.....	9
<i>Finsko</i>	9
<i>Česká republika</i>	10
<i>Turecko</i>	11
<i>Rakousko</i>	12
SPOLEČNÁ VZDĚLÁVACÍ VÝCHODISKA	12
TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRO NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍCH ÚLOH	14
BADATELSKY ORIENTOVANÁ VÝUKA	14
FACILITACE V BADATELSKY ORIENTOVANÉM PROSTŘEDÍ.....	15
SEBEDETERMINAČNÍ TEORIE	16
KONTEXTOVÉ A INTERDISCIPLINÁRNÍ UČENÍ.....	16
PRINCIPY NÁVRHU EXPERIMENTÁLNÍCH ÚLOH	17
<i>Principy napříč zeměmi</i>	17
<i>Odvozený soubor dimenzí</i>	18
<i>Praktické experimentální úlohy</i>	18
<i>Virtuální experimentální úlohy</i>	19
UKÁZKA PRINCIPŮ A DIMENZÍ NA PŘÍKLADU	20
PŘÍKLAD STRUKTURY.....	20
ŠABLONA NÁVRHU ÚLOHY	20
<i>Přehledová část</i>	21
<i>Narativní krokový popis</i>	21
ITERATIVNÍ PROCES VYLEPŠOVÁNÍ ÚLOH	21
PŘÍKLAD ÚLOHY	22
OČEKÁVANÝ VZDĚLÁVACÍ PŘÍNOS A DOPORUČENÍ.....	24
PRO STUDUJÍCÍ	24
PRO VYUČUJÍCÍ	24
PRO TVORBU VZDĚLÁVACÍ POLITIKY A KURIKULA	24
LITERATURA.....	25

Úvod: Projekt STExperiMents

Cílem projektu STExperiMents je vytvořit soubor STEM vzdělávacích aktivit, které učitelům umožní začlenit do výuky smysluplné a na důkazech založené STEM vzdělávání. Vedle tohoto hlavního cíle projekt sleduje několik vzájemně propojených záměrů.

Tvorba experimentů obohatí zapojené školy i výzkumné skupiny propojením různých perspektiv napříč obory. Iterativní zdokonalování založené na důkazech přinese poznatky využitelné také pro výzkumnou komunitu STEAM vzdělávání. Projektové experimenty zdůrazňují rozvoj dovedností a kompetencí a zviditelňují hlubší vzdělávací cíle experimentů nad rámec samotného předávání obsahu budoucím i stávajícím učitelům, vzdělavatelům učitelů a rozhodovacím aktérům. Experimenty vytvořené v rámci projektu STExperiMents jsou realizovány ve dvou formách: praktické a digitálně podporované aktivity. V praktických aktivitách studenti přímo pracují s materiály a měřicími postupy, například při zkoumání teploty (obrázek 1a), zatímco digitální prostředí umožňuje objevovat vědecké koncepty prostřednictvím simulací, například zkoumáním hodnot pH pomocí online nástroje (obrázek 1b). Přístup STEAM poskytuje interdisciplinární propojení zdůrazňovaná v národních kurikulech, která však ve školní praxi často zůstávají opomíjena.

Spolupracující sdílení nápadů, zkušeností a pedagogických strategií má potenciál proměňovat vzdělávací praxi na univerzitní i středoškolské úrovni: projektoví partneři zastupují různorodá vzdělávací prostředí s odlišnými přístupy k integraci STEAM a zároveň vedou budoucí učitele k začleňování přístupů STEAM do plánování výuky i samotných třídních aktivit.



Obrázek 1: V části a) studenti měří teplotu. V části b) studenti zkoumají hodnoty pH látek pomocí online simulátoru.

Tento dokument představuje výsledné pokyny pro návrh experimentů. Představuje teoretická východiska, na nichž je rámec založen, formuluje operacionální principy návrhu a nabízí strukturovaný model pro tvorbu a zdokonalování úloh. Jeho cílem je inspirovat učitele a vzdělavatele učitelů při analýze, tvorbě a adaptaci experimentálních úloh. Struktura dokumentu má podporovat badatelské procesy a zřetelně vymezovat facilitaci tak, aby návrh úloh podporoval badatelské kompetence a povědomí o facilitaci.

Pozornost je zaměřena na vnitřní strukturu úloh: jak jsou formulovány problémy, jak jsou vymezovány stupně volnosti, jak struktury měření usměrňují uvažování, jak je nakládáno s nejistotou a jak reflexe podporuje konceptuální upevnění poznatků. Experimentální aktivity představují běžnou součást STEM vzdělávání napříč evropskými školskými systémy. Jejich vzdělávací přínos závisí na způsobu jejich návrhu, strukturování a facilitace. Experimentální úlohy se liší mírou, v jaké studenty zapojují do tvorby hypotéz, kontroly proměnných, uvažování založeného na měření a hodnocení důkazů. Z tohoto důvodu vyžaduje návrh experimentálních aktivit explicitní pedagogické i epistemické promyšlení. Pokyny pro návrh experimentů projektu STExperiMents se zaměřují na dimenzi návrhu experimentování ve STEM vzdělávání. Napříč zapojenými zeměmi kurikula zdůrazňují badatelské kompetence, průřezové dovednosti, digitální integraci a schopnost pracovat se složitými sociálně-technickými výzvami.

Kontext projektu

STExperiMents je partnerský projekt spolupráce Erasmus+ KA220-SCH v oblasti školního vzdělávání, který své aktivity zasazuje do aktuálních evropských priorit v oblasti STEM/STEAM vzdělávání, digitální transformace a rozvoje průřezových kompetencí. Mezi zvolené priority programu patří podpora zájmu o STEM a excelence v této oblasti i v přístupu STEAM, stejně jako podpora digitální transformace prostřednictvím digitální připravenosti, odolnosti a kapacit.

Evropská vzdělávací politika v současnosti zasazuje rozvoj škol do širších procesů digitální a socioekonomické transformace. Digitální připravenost je chápána jako systémový požadavek. Probíhající digitální proměna společnosti a trhu práce vyžaduje, aby vzdělávací systémy připravovaly žáky a studenty na prostředí, v nichž jsou digitální nástroje, práce s daty a technologická infrastruktura součástí téměř všech profesních oblastí. Očekávaná široká poptávka po digitálních kompetencích, zejména v sektorech IT a STEM, staví digitální kapacitu do role strukturální podmínky pro uplatnění na budoucím trhu práce a zachování evropské ekonomické stability. STEM vzdělávání je proto spojováno s otázkami konkurenceschopnosti a inovací. Nedostatek odborníků kvalifikovaných ve STEM je vnímán jako omezení výzkumu, technologického rozvoje a udržitelného hospodářského růstu. Posilování zájmu a výkonu v přírodních vědách, technologiích, inženýrství a matematice je chápáno jako prostředek k posílení inovační kapacity Evropy a její schopnosti reagovat na technologické a environmentální výzvy. STEM vzdělávání je přitom pojímáno jako propojená oblast spojující vědecké uvažování, technologickou gramotnost a aplikované řešení problémů.

Začlenění uměleckých a společenských perspektiv v rámci přístupu STEAM odráží související důraz vzdělávací politiky na interdisciplinaritu. Evropské rámce často odkazují na průřezové kompetence, jako jsou řešení problémů, spolupráce, kreativita a schopnost aplikovat znalosti napříč oblastmi. Tyto kompetence jsou spojovány s flexibilními vzdělávacími trajektoriemi a schopností orientovat se ve složitých reálných situacích. Vzdělávací iniciativy jsou proto podporovány v překračování čistě oborově zaměřeného předávání obsahu a ve vytváření učebních prostředí, která propojují konceptuální porozumění s kontextovým využitím poznatků.

Udržitelnost se ve vzdělávací politice objevuje jako součást širších zelených a digitálních transformací formujících evropské společnosti. Od vzdělávacích systémů se očekává, že přispějí k udržitelnému ekonomickému rozvoji a připraví žáky a studenty na zapojení do environmentálně a technologicky se proměňujících kontextů. Toto směřování propojuje STEM kompetence se společenskou odpovědností, technologickými inovacemi a dlouhodobou ekonomickou odolností.

Digitální připravenost, STEM kapacita, průřezové kompetence a udržitelnost tvoří vzájemně propojený politický rámec. Vzdělávání je v něm chápáno jako klíčový mechanismus, jehož prostřednictvím Evropa usiluje o posílení inovačního potenciálu, reakci na požadavky trhu práce a zvládnutí ekologické a technologické transformace.

Cíle projektu

Experimentální úlohy mohou podporovat analytické uvažování, strukturovanou dokumentaci, týmovou spolupráci a interpretaci dat. Míra, v jaké jsou průřezové kompetence systematicky hodnoceny nebo propojeny s návrhem experimentů, však závisí na jejich implementaci na úrovni škol.

Projekt STExperiMents se zaměřuje na tvorbu strukturovaných návrhů experimentálních úloh pro STEM vzdělávání. Tyto úlohy jsou chápány jako záměrně navržená učební prostředí, v nichž je vnitřní struktura experimentování explicitně zviditelněna. Pozornost je věnována způsobu formulace problémů, organizaci proměnných, začlenění měření do procesů uvažování a zakotvení reflexivních fází. Projekt usiluje o vytvoření koherentního souboru návrhů experimentů, které lze implementovat, analyzovat a dále rozvíjet v různých kontextech. Hlavními uživateli těchto návrhů úloh jsou učitelé a vzdělavatelé učitelů. Projekt cílí na budoucí i stávající učitele a chápe experimentální úlohy jako nástroje pro realizaci výuky i jako předmět profesní reflexe.

Cílový výstup

Hlavním cílem projektu je vytvořit přenositelné, výzkumně podložené návrhy experimentálních úloh, které lze přizpůsobit různým vzdělávacím podmínkám partnerských zemí, zároveň podporovat rozvoj kompetencí souvisejících s badatelstvím a zviditelňovat nároky na facilitaci.

Tento dokument stanovuje rámec pro návrh experimentálních aktivit vytvářených v projektu STEXperiMents. Slouží jako společný referenční rámec pro všechny partnery zapojené do tvorby, ověřování a zdokonalování praktických i virtuálních STEM experimentů. Může být využit také učiteli pro lepší porozumění experimentům, jejich struktuře a aspektům, které je třeba zohlednit při adaptaci aktivit nebo tvorbě vlastních experimentů.

Dokument převádí projektové závazky do operacionálních kritérií návrhu, která usměrňují tvorbu úloh napříč pracovními balíčky a partnerskými zeměmi.

- Projekt zahrnuje vývoj osmi pilotovaných experimentálních aktivit, čtyř fyzických a čtyř virtuálních, které budou součástí volně dostupného souboru nástrojů. Tyto aktivity jsou chápány jako strukturované experimentální formáty, které lze realizovat, analyzovat a upravovat v různých vzdělávacích kontextech. Každý experiment by měl být navržen tak, aby se přizpůsobil národním kurikulumům při zachování své základní konceptuální a metodologické struktury.
- Druhým výstupem projektu je vytvoření metodologie pro zkoumání učebního výkonu žáků a studentů při práci s experimentálními aktivitami. Z tohoto důvodu by návrh každé úlohy měl zahrnovat explicitní strukturu měření a hodnocení. Experimentální formáty musí umožnit získávání pozorovatelných důkazů o procesech uvažování studentů, práci s proměnnými, interpretaci dat a formulaci závěrů. Hodnoticí nástroje mají být sladěny s těmito strukturálními prvky tak, aby umožňovaly systematickou analýzu během třídního ověřování a následných revizí.

Proces vývoje vychází z iterativní logiky návrhu. Experimentální úlohy jsou analyzovány, navrhovány, posuzovány, implementovány ve výuce a následně upravovány na základě zdokumentované zpětné vazby od budoucích učitelů, učitelů z praxe i studentů. Důležitou součástí tohoto procesu je implementace napříč zeměmi. Návrhy úloh by měly být popsány s dostatečnou přesností pro věrnou reprodukovatelnost, a přitom zůstat dostatečně flexibilní, aby zohledňovaly rozdíly v materiálním vybavení, časové dotaci a kurikulárních prioritách.

Pokyny rovněž vyžadují, aby každá experimentální aktivita transparentně ukazovala svou epistemickou strukturu. To zahrnuje jasné vymezení problému, specifikaci proměnných a omezení, definování postupů měření a strukturované reflexivní fáze. Cílem je zajistit, aby návrh experimentů podporoval badatelské procesy a pomáhal facilitátorům předvídat a zvládat dynamiku výuky.

Tento dokument operacionalizuje projektové závazky:

- vytvoření validovaného souboru experimentálních nástrojů,
- doprovodné metodologie hodnocení,
- a strukturovaných výstupů pro diseminaci.

Poskytuje sdílená kritéria návrhu, jejichž prostřednictvím jsou experimentální aktivity vytvářeny, ověřovány, přizpůsobovány a připravovány pro širší využití v evropských vzdělávacích kontextech.

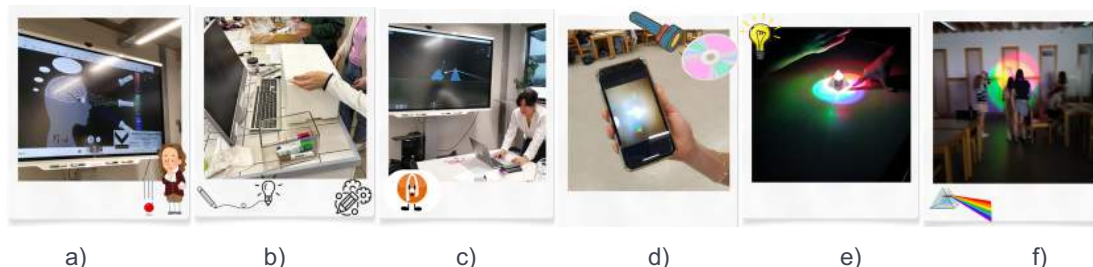
STEM a STEAM

Ve vzdělávací praxi může být rozlišení mezi STEM a STEAM plynulé. Oba přístupy sdílejí několik společných principů:

- učení prostřednictvím badatelství a experimentování,
- problémově a projektově orientované učení,
- integrace znalostí napříč oborovými hranicemi
- rozvoj průřezových kompetencí, jako jsou čtyři C kompetencí 21. století: kritické myšlení, spolupráce, komunikace a kreativita,
- propojení teoretických znalostí s reálnými aplikacemi.

Přístupy orientované na STEM se zpravidla zaměřují na vědecké uvažování, technologickou gramotnost a technicky orientované řešení problémů, často se zdůrazněním analytických a kvantitativních metod. Tyto přístupy jsou úzce spojeny s inovacemi, technologickým rozvojem a požadavky moderního trhu práce (National Research Council, 2012; Bybee, 2013). Zachovávají tato východiska a zároveň začleňují procesy kreativního návrhu, vizualizace, prototypování a estetického zkoumání (viz obrázek 2 a–c). To může podporovat různé formy zapojení do vědeckých konceptů, včetně alternativních způsobů modelování jevů, reprezentace dat či zkoumání technologických myšlenek (Henriksen, 2017).

V tomto smyslu lze STEAM chápat jako rozšíření STEM. Přináší další perspektivy podporující kreativitu, designové myšlení a širší formy inovací; příklady aktivit STEAM ukazuje obrázek 2 d–f. Význam STEAM se projevuje v začleňování uměleckých perspektiv a humanitních oborů do vzdělávacích prostředí souvisejících se STEM. Toto propojení je stále častěji diskutováno ve vzdělávacím výzkumu i v oblasti vzdělávací politiky. Jedním z důvodů je skutečnost, že mnohé současné technologické a společenské výzvy vyžadují integrativní myšlení propojující analytické uvažování s kreativitou, designem a komunikací (European Commission, 2018).



Obrázek 2: Obrázky a–c zobrazují STEM orientované aktivity; obrázky d–f představují STEAM orientované aktivity, v nichž studenti zkoumají lom světla a adici/subtrakci RGB barev z umělecké perspektivy.

Ve vzdělávacím prostředí mohou přístupy STEAM podporovat učení tím, že podněcují různé formy reprezentace a vysvětlování:

- propojují vědecké koncepty s designem, vizualizací a kreativním vyjádřením
- podporují motivaci a zapojení různorodých skupin žáků a studentů
- usnadňují zkoumání komplexních sociálně-technických jevů z různých perspektiv.

Z pedagogického hlediska tak STEAM může nabízet další cesty, jak studenty zapojit do práce s vědeckými koncepty, zejména v situacích zahrnujících experimentování, modelování, prototypování nebo procesy návrhu (Henriksen, 2017; Yakman & Lee, 2012). Pro účely projektu STEXperiMents však STEM zůstává výchozím referenčním rámcem, protože experimentální aktivity jsou založeny na přírodovědném a matematickém badatelství. Projekt zároveň uznává, že prvky kreativního návrhu, postupy vizualizace a interdisciplinární perspektivy spojené se STEAM mohou obohatit návrh experimentálních úloh a podpořit širší zapojení do STEM souvisejících jevů.



Vzdělávací kontext v zapojených zemích

Návrh STEM aktivit a experimentálních doporučení v rámci nadnárodního partnerství zahrnujícího Finsko, Česko, Turecko a Rakousko vyžaduje zohlednění rozdílů ve vzdělávacích strukturách a podmínkách výuky. Přestože všechny čtyři země zahrnují přírodovědné vzdělávání a experimentální činnosti do svých kurikul, kontext jejich realizace se liší.

Mezi důležité faktory patří dostupnost a údržba laboratorní infrastruktury, přístup ke spotřebnímu materiálu, velikost tříd, časová dotace vyhrazená praktické výuce a organizace přípravy budoucích učitelů i dalšího vzdělávání učitelů v praxi. V některých prostředích mohou být laboratorní cvičení formálně zařazena do rozvrhu, zatímco jinde je experimentování integrováno do běžných vyučovacích hodin. Míra kurikulární flexibility, hodnotící postupy a bezpečnostní pravidla mohou ovlivňovat způsob strukturování a realizace experimentů. Tyto kontextové charakteristiky určují, zda jsou experimenty převážně řízeny učitelem, vedeny s podporou nebo otevřenějšího charakteru. Tyto rozdíly formují vznik doporučení, která lze interpretovat a realizovat v různorodých institucionálních prostředích bez předpokladu jednotných materiálních, časových či pedagogických podmínek.

Národní priority STEM

Na základě národních kurikulárních rámců a oficiálních profilů vzdělávacích systémů Finsko, Česko, Turecko i Rakousko zahrnují přírodní vědy a matematiku jako povinné součásti základního vzdělávání a zároveň formálně odkazují na experimentální či badatelské prvky ve výuce přírodovědných předmětů.

- Ve Finsku Národní kurikulum vyžaduje multidisciplinární vzdělávací moduly a zdůrazňuje badatelskou a experimentální práci v přírodovědných předmětech (Finnish National Agency for Education, 2016).
- V Česku Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání vymezuje přírodovědné předměty v rámci vzdělávací oblasti „Člověk a příroda“ a zahrnuje praktické činnosti i pozorování jako součást přírodovědné výuky (Ministry of Education, Youth and Sports Czech Republic, 2021).
- V Turecku národní kurikulum přírodních věd vymezuje badatelsky orientované učení, experimentování a dovednosti technického návrhu v rámci centrálně stanovených kurikulárních standardů (Ministry of National Education Türkiye, 2024).
- V Rakousku kurikula pro primární a sekundární vzdělávání explicitně odkazují na experimentování a vědecké badatelství v rámci kompetenčně orientovaného přírodovědného vzdělávání (BMBWF, 2004, 2012).

Profily vzdělávacích systémů ukazují rozdíly ve strukturách řízení a míře autonomie škol napříč těmito čtyřmi zeměmi, což ovlivňuje způsob realizace STEM a experimentálních aktivit na úrovni škol (Eurydice, 2023a, 2023b, 2023c, 2023d; OECD, 2020).

Finsko

Finský systém základního vzdělávání je vymezen Národním kurikulem pro základní vzdělávání (Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014; POPS 2014), které poskytuje celostátní rámec pro tvorbu místních kurikul. Obce a školy mají ve finském vzdělávacím systému značnou pedagogickou autonomii.

Finská Národní strategie a akční plán pro STEM (Ministry of Education and Culture, 2023) posilují kompetence v přírodních vědách, matematice a technologiích napříč vzděláváním i společnostmi a podporují sociálně, ekologicky a ekonomicky udržitelný rozvoj a inovační kapacitu (Ministry of Education and Culture, 2023). Široce pojatý koncept LUMATE (přírodní vědy, matematika a technologie) propojuje finské vzdělávání s mezinárodním rámcem STEM/STEAM a zdůrazňuje interdisciplinární učení a technologické kompetence potřebné pro budoucí pracovní život a společenské výzvy (Ministry of Education and Culture, 2023).

Kurikula začleňují do všech vzdělávacích oblastí badatelsky orientované metodologie, průřezové kompetence a rozmanitá učební prostředí i metody. Přírodovědné vzdělávání je kompetenčně orientované (hloubkové i široce založené) a klade důraz na experimentování, fenomenologicky orientované a na žáka zaměřené učení. Kurikulum podporuje přístup, v němž se žáci individuálně i ve skupinách zapojují do praktického zkoumání, využívají strategie řešení problémů a učí se aplikovat poznatky v reálných situacích (POPS, 2014). Zároveň podporuje rozšiřování vzdělávacích prostředí mimo školu prostřednictvím spolupráce s externími partnery (Fisk, 2024), čímž obohacuje badatelsky orientované učení a propojuje vzdělávání s reálnými kontexty (POPS, 2014).

Moduly založené na fenomenologickém učení často propojují perspektivy přírodních věd, matematiky, technologií a umění způsobem srovnatelným s přístupy STEAM. Tyto moduly mohou být organizovány formou projektových týdnů nebo jako průběžné interdisciplinární vzdělávací jednotky rozložené v průběhu školního roku (Opetushallitus, 2014). Národní STEM strategie tyto kurikulární směry dále posiluje důrazem na multidisciplinární STEM vzdělávání, spolupráci mezi vzdělávacími institucemi a externími aktéry a rozvoj přírodovědné gramotnosti jako klíčové občanské kompetence (Ministry of Education and Culture, 2023).

1. Učení vychází z oborových kompetencí: Hloubkové a široce založené porozumění disciplínám tvoří základ vědeckého bádání.
2. Praktické a problémově orientované učení: Žáci zkoumají, experimentují a řeší problémy individuálně i ve skupinách v reálných kontextech.
3. Široce založené kompetence se propojují s hlubokým oborovým porozuměním: Myšlenkové dovednosti a spolupráce jsou rozvíjeny prostřednictvím oborových znalostí i spolu s nimi a vytvářejí jednotný kompetenční základ podporující hlubší bádání a aplikaci v reálném světě.
4. Multidisciplinární (STEAM) moduly propojují předměty prostřednictvím fenomenologického učení: Společně sdílené jevy jsou zkoumány napříč předměty v projektových týdnech nebo prostřednictvím průběžných modulů během školního roku.
5. Vzdělávací prostředí přesahují školu: Partnerství s muzei, vědeckými centry, odborníky a organizacemi obohacují badatelské procesy a propojují učení s autentickým prostředím (např. mohou být využita v rámci multidisciplinárních modulů).
6. STEM kompetence jsou propojeny se společenským blahobytem a udržitelným rozvojem.
7. STEM vzdělávání je součástí kontinuální vzdělávací trajektorie.

Národní STEM strategie zdůrazňuje roli STEM vzdělávání při řešení globálních výzev, jako jsou změna klimatu, digitální transformace a udržitelný ekonomický růst (Ministry of Education and Culture, 2023).

Česká republika

Český vzdělávací systém poskytuje národní kurikulární rámec prostřednictvím Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání (RVP ZV), který vymezuje obecné vzdělávací cíle a kompetence pro povinné vzdělávání. Přírodovědné vzdělávání je v něm organizováno ve vzdělávací oblasti „Člověk a příroda“, která zahrnuje předměty jako fyzika, chemie a biologie. Kurikulum staví na pozorování, experimentování a interpretaci přírodních jevů jako klíčových prvcích přírodovědného učení (Ministry of Education, Youth and Sports Czech Republic, 2021). Český systém propojuje národní kurikulární pokyny s určitou mírou autonomie na úrovni škol. Školy vytvářejí vlastní školní vzdělávací programy a přizpůsobují výukové metody i učební aktivity místním podmínkám, aby mohly začleňovat experimentální aktivity, praktická zkoumání a badatelsky orientované přístupy s ohledem na dostupné zdroje a institucionální priority (Eurydice, 2023b).

Přírodovědné vzdělávání v českých školách zdůrazňuje rozvoj přírodovědné gramotnosti prostřednictvím pozorování, experimentování a uvažování o přírodních jevech. Praktické aktivity často zahrnují měření, porovnávání výsledků a interpretaci důkazů. Experimentální práce proto funguje jako výukový formát propojující teoretické poznatky s empirickým pozorováním a rozvíjející uvažování o vztazích mezi proměnnými. Na základě českého kurikulárního rámce a charakteristik systému lze pro efektivní STEM vzdělávání s badatelsky orientovaným experimentováním vymezit tyto principy:

- Učení propojuje teorii s empirickým pozorováním. Studenti zkoumají přírodní jevy prostřednictvím strukturovaného pozorování a experimentálních aktivit.
- Vědecké uvažování se rozvíjí experimentováním. Žáci shromažďují měření, analyzují data a interpretují důkazy, aby vysvětlili pozorované jevy.
- Badatelské procesy jsou začleněny do výuky. Experimentální úlohy podporují studenty ve formulaci otázek, zkoumání vztahů mezi proměnnými a hodnocení výsledků.
- Flexibilita na úrovni školy podporuje kontextové přizpůsobení. Školy upravují experimentální aktivity podle dostupnosti, laboratorní infrastruktury a časové dotace.
- Spolupráce a diskuse podporují konceptuální porozumění. Studenti porovnávají pozorování a interpretace, aby zpřesnili vysvětlení a propojili výsledky s pojmy.

Turecko

Turecko poskytuje kurikulární rámec, v němž jsou vědecké badatelství, technický návrh, kompetenčně orientované učení a řešení problémů z reálného světa vzájemně propojeny (Ministry of National Education Türkiye, 2024). Míra flexibility při implementaci je omezenější než v decentralizovaných systémech, přesto jsou tyto prvky formálně zakotveny v národních kurikulárních dokumentech a vzdělávací politice. Přírodovědné vzdělávání je strukturováno prostřednictvím centrálně definovaných kurikul pro primární a nižší sekundární vzdělávání, zejména prostřednictvím kurikula přírodních věd, které zahrnuje experimentování, badatelské procesy, analytické myšlení a aplikaci do každodenního života jako své klíčové součásti.

Vzdělávání orientované na STEAM bylo posíleno kurikulárními reformami a národními politickými iniciativami, zejména od aktualizací kurikula v letech 2018 a 2024. Dovednosti technického návrhu a inženýrství byly explicitně začleněny do přírodovědného vzdělávání a propojují experimentování s řešením problémů, vývojem produktů a jejich evaluací. STEAM vzdělávání je obvykle integrováno do přírodovědně a technologicky orientovaných aktivit, nikoli realizováno jako samostatná vzdělávací oblast. Badatelsky orientované učení je podporováno prostřednictvím strukturovaných aktivit, v nichž studenti formulují otázky, provádějí zkoumání, interpretují data a propojují zjištění s reálnými situacemi.

Ve srovnání s více decentralizovanými systémy je implementace standardizovanější a učebnice i národní metodické materiály hrají významnou roli při utváření výukové praxe (Eurydice, 2023c). To zároveň zajišťuje, že badatelské procesy a experimentální aktivity jsou konzistentně začleňovány napříč školami. Na základě kurikulárních dokumentů a vývoje STEM politik lze pro efektivní STEM vzdělávání v Turecku na sekundární úrovni identifikovat následující principy:

- Učení je strukturované a vedené. Badatelské procesy jsou řízeny předem definovanými úlohami, aby se studenti mohli zapojit do experimentů při průběžné podpoře učitele.
- Experimentování je propojeno s technickým návrhem. Studenti zkoumají jevy a zároveň navrhují a testují řešení, čímž propojují vědecké poznání s praktickou aplikací.
- Je zakotvena relevance pro reálný svět. Úlohy jsou spojovány s každodenními problémy a společenskými potřebami, čímž podporují aplikaci znalostí mimo školní prostředí.
- Dovednosti vědeckého procesu jsou rozvíjeny explicitně. Pozorování, formulace hypotéz, interpretace dat a evaluace jsou systematicky začleňovány do návrhu úloh.
- Interdisciplinární propojení jsou často ukotvena v přírodovědných předmětech. Matematika a technologie jsou integrovány především prostřednictvím aplikací v přírodovědném kontextu.



- Zdroje a implementace jsou standardizované. Učebnice a národní materiály poskytují strukturované experimentální aktivity podporující realizaci badatelské výuky.

Tyto principy odrážejí model, v němž je badatelsky orientované STEM vzdělávání zasazeno do centrálně řízeného kurikula a propojuje strukturované experimentování s prvky technického návrhu a aplikacemi v reálném světě.

Rakousko

Rakousko poskytuje kurikulární rámec, v němž jsou experimenty, průřezové kompetence, badatelsky orientované metodologie, digitální nástroje a témata udržitelnosti vzájemně propojeny. Míra integrace i hloubka implementace se mezi vzdělávacími prostředími liší, všechny tyto prvky jsou však formálně zakotveny v národních politických dokumentech a předmětových kurikulech. Přírodovědné vzdělávání je strukturováno prostřednictvím oborově zaměřených kurikul pro primární a sekundární vzdělávání, včetně fyziky, chemie a biologie, s kompetenčně orientovanými formulacemi odkazujícími na experimentování a vědecké badatelství (BMBWF, 2004, 2012). Rakouský systém kombinuje národně definovaná kurikula s pedagogickou autonomií na úrovni škol (Eurydice, 2023d). STEM orientované vzdělávání je často realizováno prostřednictvím specializovaných profilů v rámci existujících typů škol. Všeobecně vzdělávací střední školy i odborné a technické střední školy poskytují strukturovanou laboratorní výuku v technicky zaměřených programech (BMBWF, 2011). Školy se mohou profilovat v oblasti MINT vzdělávání a získat označení MINTseal. Národní certifikace MINT oceňuje školy, které prokazují systematické a dlouhodobé zapojení do matematiky, informatiky, přírodních věd a technologií (MINT).

Na základě sítě MINTschule (MINT Best Practices, 2021) lze pro efektivní STEM vzdělávání v Rakousku na sekundární úrovni s badatelsky orientovaným učením identifikovat následující principy:

1. Učení je orientováno na aplikaci. Studenti se zapojují do praktického zkoumání. Klíčovými prvky jsou experimentování, úlohy zaměřené na řešení problémů a propojení s reálnými situacemi.
2. Badatelství je strukturované a aktivně zapojuje studenty. Žáci jsou vedeni k formulaci hypotéz, plánování zkoumání, sběru a interpretaci dat i reflexi zjištění.
3. Interdisciplinarita je zakotvena ve výuce. STEM předměty jsou propojeny napříč oborovými hranicemi, aby studenti mohli nahlížet komplexní jevy z více perspektiv.
4. Partnerství rozšiřují vzdělávací prostředí. Spolupráce s univerzitami, výzkumnými institucemi, firmami a STEM iniciativami podporuje badatelské zkušenosti studentů.
5. Profesionální rozvoj učitelů je kontinuální. Školy s dlouhodobě rozvíjeným STEM profilem investují do průběžného oborového i pedagogického vzdělávání učitelů s cílem podporovat facilitaci badatelských procesů.
6. STEM je institucionálně ukotven. Badatelsky orientované STEM vzdělávání je součástí plánu rozvoje školy a je spojeno s dlouhodobými cíli.
7. Digitální nástroje jsou smysluplně integrovány. Jsou využívány pro sběr dat, modelování, simulace a dokumentaci a podporují badatelské procesy.

Společná vzdělávací východiska

Kompetence jako kritické myšlení, spolupráce, komunikace, kreativita a digitální gramotnost jsou zmiňovány napříč vzdělávacími oblastmi. V předmětech STEM patří experimenty k hlavním výukovým formátům, které tyto kompetence rozvíjejí. Podporují konceptuální porozumění a propojují teorii s empirickým pozorováním. V praxi se jejich četnost i podoba liší podle typu školy, předmětu a místních podmínek. Ve fyzice často slouží k demonstraci jevů, v chemii rozvíjejí technické dovednosti a vědeckou preciznost prostřednictvím strukturovaných postupů a v biologii mají často podobu pozorování, měření či jednoduchého zkoumání.



Témata udržitelnosti jsou v kurikulu zakotvena jako průřezové principy i v předmětech, například biologii a chemii. Zahrnují změnu klimatu, energetiku, využívání zdrojů a ochranu životního prostředí. Experimenty se vztahují k oblastem, jako jsou obnovitelné zdroje, vlastnosti materiálů, ekologické systémy či environmentální měření, a propojují tak obsah STEM se společenskými a environmentálními otázkami.

Teoretická východiska pro návrh experimentálních úloh

Návrh experimentálních úloh v přírodovědném vzdělávání vychází z několika teoretických perspektiv vysvětlujících, jak se žáci a studenti zapojují do konstrukce poznání a jak tento proces ovlivňuje výukové prostředí. Výchozím bodem je badatelsky orientované učení, v němž dochází k učení prostřednictvím formulace hypotéz, práce s proměnnými a vyhodnocování důkazů. V badatelsky orientovaném prostředí žáci formulují otázky, interpretují důkazy a upravují své uvažování na základě výsledků experimentů. Výzkum v přírodovědném vzdělávání ukazuje, že experimentování získává vzdělávací význam tehdy, když úlohy vyžadují práci s nejistotou, vzájemně působícími proměnnými a iterativním rozhodováním (Minner et al., 2009; Pedaste et al., 2015).

Z tohoto pohledu lze experimenty chápat jako strukturovaná epistemická prostředí. Návrh experimentálních úloh určuje, zda žáci vnímají experimentování jako mechanické provádění postupu, nebo jako proces zkoumání. Výzkumy laboratorní výuky rozlišují mezi verifikačně orientovanými aktivitami, kde jsou postupy i výsledky převážně předem určeny, a badatelsky orientovanými přístupy, které přenášejí část epistemické odpovědnosti na žáky (Domin, 1999; Hofstein & Lunetta, 2004). Badatelsky orientované úlohy vystavují žáky interakci proměnných a nejistým výsledkům, což vyžaduje systematické uvažování a koordinaci důkazů. Výzkum vědeckého myšlení ukazuje, že procesy, jako je kontrola proměnných v multikauzálních systémech, bývají často skryté a vyžadují strukturovaný prostor pro zkoumání a reflexi (Kuhn, 2002).

Struktura experimentálních úloh zároveň ovlivňuje nároky kladené na učitele. Badatelsky orientovaná prostředí vyžadují vyvažování epistemické otevřenosti a vedení, podporu spolupráce, řízení kognitivní zátěže i propojení experimentálních pozorování s konceptuálním porozuměním. Teorie kognitivní zátěže vysvětluje, že nevhodně strukturované úlohy mohou žáky přetěžovat, zatímco promyšlená omezení pomáhají zaměřit pozornost na podstatné konceptuální vztahy (Kirschner et al., 2006; Sweller, 2019). Facilitace v badatelském prostředí proto závisí i na epistemické struktuře samotné úlohy, protože rozhodnutí při jejím návrhu určují, jak žáci pracují s proměnnými, důkazy a spoluprací.

Badatelsky orientovaná výuka

Návrh experimentálních úloh v přírodovědném vzdělávání vyžaduje zohlednění způsobu, jakým se žáci a studenti zapojují do tvorby poznání. Badatelsky orientované učení chápe žáky jako aktivní účastníky epistemických procesů, jako je formulace hypotéz, práce s proměnnými a vyhodnocování důkazů (viz obrázek 3). Žáci mají rozhodovat o podobě experimentu, interpretovat nejisté výsledky a upravovat své strategie na základě nově vznikajících důkazů. Tyto procesy propojují experimentování s vědeckým uvažováním, protože žáci koordinují pozorování, proměnné a měření při vytváření vysvětlení. Výzkum badatelsky orientovaného přírodovědného vzdělávání ukazuje, že takové epistemické zapojení silně závisí na struktuře úloh a na tom, jak jsou do procesu učení začleněny příležitosti k reflexi a interpretaci, které nevznikají automaticky samotnou praktickou činností (Minner et al., 2009; Pedaste et al., 2015).

Experimentální učení lze chápat jako návrh strukturovaných epistemických prostředí. Laboratorní aktivity se liší podle toho, zda žáci ověřují známé výsledky, nebo zkoumají otevřené problémy. Verifikačně orientované laboratorní aktivity obvykle předepisují postupy i očekávané výsledky a staví žáky především do role vykonavatelů předem definovaných kroků. Badatelsky orientované experimenty naopak přenášejí epistemickou odpovědnost na žáky a vyžadují formulaci hypotéz, identifikaci a kontrolu proměnných i vyhodnocování důkazů v podmínkách nejistoty. Taková prostředí odhalují komplexitu vzájemně působících proměnných a vyžadují iterativní rozhodování. Návrh experimentálních úloh tak určuje, zda žáci vnímají experimentování jako mechanické provedení postupu, nebo jako proces konstrukce poznání. Materiální omezení, měřicí nástroje a kritéria porovnávání vymezují strukturu problémového prostoru a ovlivňují, jak žáci interpretují důkazy a upravují své uvažování (Domin, 1999; Kuhn, 2002; Lazonder & Harmsen, 2016).

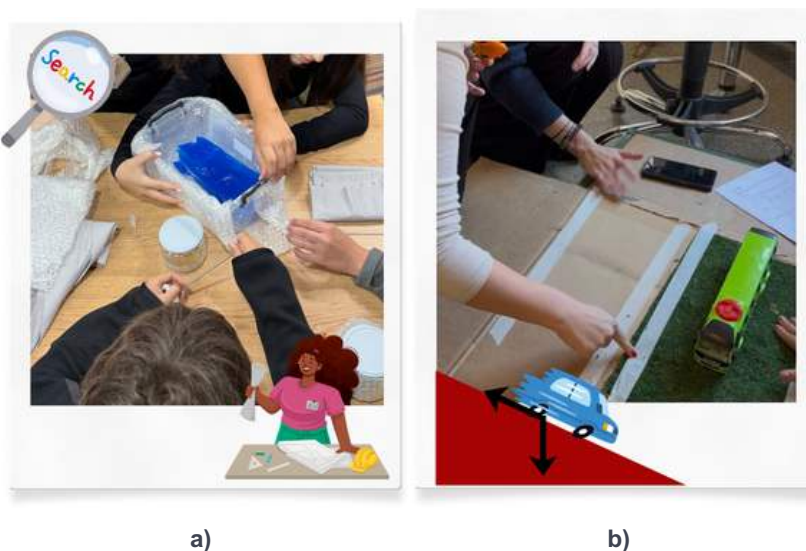
Facilitace v badatelsky orientovaném prostředí

Struktura experimentálních úloh zároveň formuje nároky na facilitaci kladené na učitele. Badatelsky orientované prostředí vyžaduje, aby učitelé současně řídili více procesů:

- udržovali produktivní míru nejistoty,
- podporovali strategie práce s proměnnými,
- koordinovali spolupráci,
- a vedli reflexi propojující empirická pozorování s konceptuálním porozuměním.

Tyto požadavky na facilitaci vycházejí z epistemické architektury samotné úlohy. Nevhodně strukturované aktivity mohou zvyšovat nadbytečnou kognitivní zátěž a narušovat procesy uvažování, zatímco promyšleně nastavená omezení mohou zviditelnit relevantní proměnné a podpořit systematické porovnávání (Kirschner et al., 2006; Sweller, 2019). Učitelé proto potřebují porozumět tomu, jak rozhodnutí při návrhu úloh ovlivňují kognitivní zátěž, dynamiku spolupráce a upevňování konceptuálního porozumění.

Zapojení do badatelsky orientovaných experimentů může tyto požadavky na facilitaci zviditelnit i v přípravě učitelů. Přímá zkušenost s aktivitou odhaluje aspekty badatelství, které při pouhém pozorování výuky často zůstávají implicitní. Přechody mezi rolí žáka a učitele mohou podporovat rozvoj facilitace a profesního všímání si (professional noticing), pokud si účastníci uvědomují, jak konkrétní prvky úlohy vytvářejí kognitivní výzvy, nároky na spolupráci a příležitosti pro konceptuální porozumění (Sherin, 2007; Kolb, 1984; Schön, 1983).



Obrázek 3: Obrázky a) a b) znázorňují aktivity, v nichž jsou studenti vedeni k formulaci hypotézy v reakci na badatelsky orientovanou návrhovou výzvu.

Na základě těchto teoretických východisek jsou experimenty v projektu navrhovány jako strukturovaná badatelská prostředí, která vyvažují epistemickou otevřenost s přiměřenými omezeními. Principy odvozené z porovnání zapojených zemí a z výše uvedených teoretických východisek usměrňují návrh experimentálních úloh.

Každý princip se zaměřuje na konkrétní aspekt experimentálního učení, například rozložení epistemické odpovědnosti, zviditelnění vzájemně působících proměnných nebo roli systematického měření při vyhodnocování důkazů.

Sebedeterminační teorie

Návrh experimentálních úloh zároveň souvisí s motivačními procesy probíhajícími během učení. Teorie sebedeterminace popisuje, jak vzdělávací prostředí podporují zapojení žáků a studentů tehdy, když zažívají autonomii, kompetenci a vztahovost.

Badatelsky orientované experimentální úlohy mohou tyto podmínky vytvářet tím, že umožňují rozhodování v rámci vymezeného problémového prostoru a podporují společnou interpretaci výsledků (Ryan & Deci, 2000).

V tomto projektu byly motivační reakce studentů během experimentování měřeny pomocí nástroje Intrinsic Motivation Inventory (IMI), který operacionalizuje motivační dimenze vycházející z teorie sebedeterminace (McAuley, Duncan & Tammen, 1989).

Kontextové a interdisciplinární učení

Experimentální učení v přírodovědném vzdělávání v širších kontextech propojuje oborové znalosti s reálnými jevy a problémovými situacemi a může podporovat vytváření významu tím, že spojuje abstraktní koncepty s pozorovatelnými či relevantními situacemi, pokud si úlohy zachovávají jasné epistemické zaměření (Hmelo-Silver, 2004; Gilbert, 2006). Kontext v tomto smyslu vymezuje problémový prostor, relevanci proměnných i interpretaci výsledků.

Interdisciplinární přístupy označované jako STEM nebo STEAM často popisují způsoby propojování znalostních oblastí při řešení komplexních jevů (Liao, 2016). Poskytují rámec pro organizaci obsahu a perspektiv. V návrhu experimentálních úloh jsou interdisciplinární propojení důležitá tehdy, pokud ovlivňují strukturu problému, zvažované proměnné nebo způsob hodnocení řešení. Například rozhodování související s návrhem, modelovací procesy nebo interpretace dat mohou vycházet z více oblastí, aniž by vždy vyžadovaly explicitní propojení všech disciplín.

Začlenění uměleckých či humanitně orientovaných prvků, zdůrazňovaných v přístupech STEAM, může podporovat procesy, jako jsou vizualizace, modelování, propojení s místní kulturou a reprezentace (Henriksen, 2017). Tyto prvky mohou přispívat k učení tehdy, pokud jsou epistemicky propojeny se zkoumáním a nejsou chápány jako oddělené kreativní aktivity. Význam interdisciplinárních perspektiv proto závisí na jejich funkci v experimentální úloze – na tom, jak ovlivňují procesy uvažování, reprezentace a interpretaci i zasazení důkazů do kontextu. Tyto perspektivy fungují jako rámcová vrstva, která ovlivňuje konstrukci úloh i zapojení žáků do komplexních jevů reálného světa.

Principy návrhu experimentálních úloh

Experimentální aktivity vycházejí ze společných kurikulárních směrů zapojených zemí. Národní kurikula těchto zemí vykazují v přírodovědném vzdělávání shodné prvky, zejména v oblasti badatelsky orientovaného učení, průřezových kompetencí, digitální integrace a kontextového řešení problémů. Tyto společné směry tvoří základ pro formulaci obecných principů návrhu experimentálních úloh.

Následující principy vymezují, jak mají být experimentální úlohy v projektu konstruovány. Převádějí kurikulární shody do operacionálních kritérií návrhu. Cílem je zajistit, aby každá experimentální aktivita vytvořená v projektu splňovala společné strukturální požadavky. Každý partner vytvoří jeden praktický experiment, který může integrovat digitální nástroje, a jeden virtuální experiment s ohledem na tyto požadavky:

Principy napříč zeměmi

1. Každý experiment propojuje vědecký koncept s rozpoznatelnou situací reálného světa. Jev je zasazen do praktického kontextu, který ukazuje, proč je daný koncept důležitý.
2. Experimenty propojují konceptuální porozumění se strukturovanými badatelskými cykly. Studenti formulují předpoklady, ověřují je, analyzují výsledky a porovnávají je s ostatními.
3. Návrh každé úlohy má zajistit přenos poznatků, a proto zahrnovat explicitní strukturu měření a hodnocení.

Každý experiment by měl být navržen podle těchto obecných dimenzí.

1. **Konceptuální zaměření:** Experiment má vymezit vědecký nebo matematický koncept, kterému se věnuje. Konceptuální cíl má řídit návrh proměnných, materiálů a měření.
2. **Kompetenční zaměření:** Experiment má specifikovat, které kompetence jsou strukturálně začleněny do úlohy. Může jít o kritické myšlení, řešení problémů, spolupráci, kreativitu a digitální gramotnost. Kompetence mají být podporovány strukturou úlohy.
3. **Kontextová relevance:** Experimentální problém musí být propojen s reálnými nebo autentickými scénáři. Kontextové zasazení má podporovat přenos mezi oborovými znalostmi a každodenními aplikacemi.

Specifika jednotlivých formátů: Praktické experimenty mají umožňovat fyzickou interakci s materiály nebo nástroji. Návrh má zajistit, aby manipulace měla epistemický význam. Virtuální experimenty podporují strukturovanou manipulaci s proměnnými v digitálním prostředí. Digitální rozhraní má podporovat zkoumání, měření a aktivní zapojení.

Integrace technologií: Experimenty mají integrovat digitální nástroje jako součást procesu uvažování. Může jít o prvky programování, digitální návrh, nástroje pro sběr dat nebo simulační prostředí. Digitální složky mají podporovat konceptuální porozumění.

Adaptabilita: Experimenty musí být přizpůsobitelné místním kontextům, včetně flexibility materiálů, možností diferenciací pro různé žáky a souladu s požadavky národních kurikul.

Udržitelnost: Kde je to vhodné, promítají se do návrhu experimentů aspekty udržitelnosti, například využíváním opakovaně použitelných materiálů nebo omezeními úloh, jako je omezená dostupnost materiálu vyžadující promyšlené využívání zdrojů.

Metodologické požadavky na návrh: Všechny experimentální úlohy vytvořené v projektu by měly vycházet ze společných metodologických principů:

- **Zapojení a autonomie:** Studenti mají manipulovat s proměnnými, rozhodovat nebo vytvářet artefakty, čímž se podporuje autonomie ve smyslu teorie sebedeterminace.

- **Badatelství:** Úloha má vyžadovat formulaci hypotéz, ověřování, pozorování a interpretaci. Tento aspekt odpovídá dimenzi kompetence v teorii sebedeterminace.
- **Spolupráce:** Experimenty mají zahrnovat fáze skupinové práce zaměřené na sdílení uvažování a porovnávání výsledků, čímž podporují vztahovost v teorii sebedeterminace.
- **Reflexe:** Každý experiment má obsahovat strukturovanou fázi analýzy výsledků, diskuse interpretaci a zvažování alternativních vysvětlení nebo možností zlepšení.
- **Proveditelnost:** Materiály, časová náročnost i technologické požadavky mají být realistické pro školní realizaci.

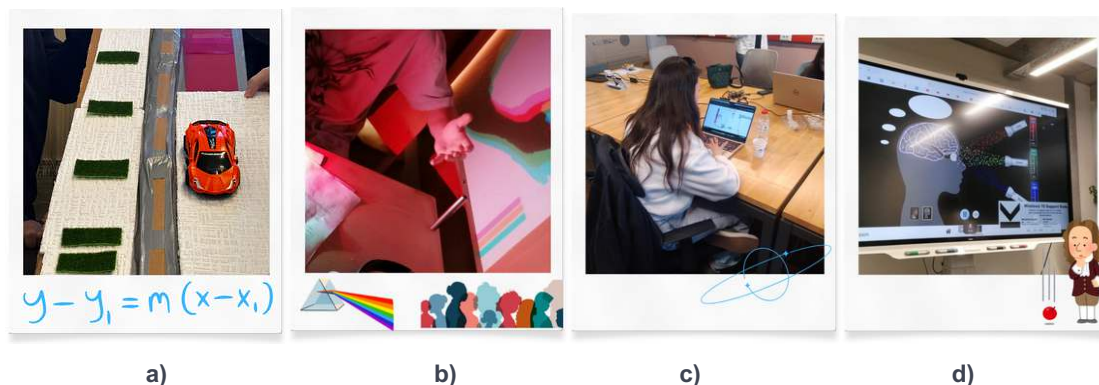
Odvozený soubor dimenzí

Následující dimenze operacionalizují uvedené principy ve struktuře jednotlivých experimentů. Každá experimentální aktivita je popsána prostřednictvím společného souboru návrhových dimenzí. Tyto dimenze umožňují porovnávání struktury úloh napříč zeměmi i formáty.

Praktické experimentální úlohy

1. *Experimentální úlohy vycházejí z konkrétní situace.*
 - Teorie: Kontextově zasazené vymezení problému může podporovat epistemické zapojení v badatelsky orientovaném prostředí. Jsou-li vědecké koncepty představeny prostřednictvím praktických problémů, mohou žáci propojit oborové uvažování s pozorovatelnými jevy a situacemi každodenního života (Minner et al., 2009; Pedaste et al., 2015).
 - Důsledek pro návrh: Škola se propojuje s každodenním životem žáků. Experiment STExperiMents vychází z běžných situací nebo využívá reflexi k propojení experimentu se životem mimo školu a s komplexními scénáři (viz obrázek 4a).
 - Indikátor: Úloha je formulována jako mise, výzva nebo narativní situace vyžadující řešení praktického problému.
2. *Studenti vytvářejí nebo upravují fyzický artefakt, který vytváří měřitelné efekty*
 - Teorie: V experimentálním učení jsou žáci aktivními účastníky konstrukce poznání. Manipulace s artefakty a pozorování vznikajících změn mohou podporovat ověřování hypotéz a porozumění vlivu proměnných (Domin, 1999; Kuhn, 2002).
 - Důsledek pro návrh: Praktické experimenty mají zahrnovat fyzické artefakty a jejich vytvoření, využití nebo úprava by měla mít měřitelný efekt.
 - Indikátor: Experiment zahrnuje pozorování a vytváření nebo nastavování něčeho, co ovlivňuje sledovaný jev.
3. *Skupiny vytvářejí porovnatelné výsledky, které mají být sdíleny mezi týmy*
 - Teorie: Vědecké uvažování lze rozvíjet prostřednictvím porovnávání důkazů a interpretace výsledků (Pedaste et al., 2015; Kuhn, 2002).
 - Důsledek pro návrh: Experimenty mají vytvářet výsledky napříč skupinami tak, aby umožňovaly společné vyhodnocování důkazů a diskusi alternativních vysvětlení.
 - Indikátor: Porovnávání dat mezi skupinami je strukturálně začleněno do úlohy.
4. *Experiment obsahuje alespoň jeden otevřený parametr návrhu, který ovlivňuje výsledek*
 - Teorie: Badatelsky orientované učení vede žáky ke zkoumání vztahů mezi proměnnými a k vyhodnocování jejich vlivu v podmínkách nejistoty. Experimentální úlohy by proto měly odhalovat vzájemně působící proměnné, které lze měnit a porovnávat (Domin, 1999; Lazonder & Harmsen, 2016).
 - Důsledek pro návrh: Žáci by měli mít možnost vytvářet jedinečné a individualizované učební zkušenosti s využitím poskytnutých materiálů. Jejich rozhodnutí by měla mít skutečný vliv na výsledek.
 - Indikátor: Studenti jsou vedeni k úpravě materiálů, uspořádání nebo podmínek, které přímo ovlivňují sledovaný jev (viz obrázek 4b).
5. *Studenti mají své výsledky veřejně prezentovat.*
 - Teorie: Veřejná prezentace výsledků podporuje interpretaci důkazů, porovnávání vysvětlení a upevňování konceptuálního porozumění prostřednictvím diskuse (Minner et al., 2009; Pedaste et al., 2015).

- Důsledek pro návrh: Studenti by měli své výsledky porovnávat buď v rámci celé třídy, nebo s ostatními skupinami. Diskuse by měla být vždy podporována a měl by na ni být vyhrazen dostatek času.
- Indikátor: Výsledky jsou externalizovány prostřednictvím posterů, artefaktů, ukázek nebo prezentací přesahujících pouhé písemné odpovědi.



Obrázek 4. V částech a) a b) se studenti zapojují do praktických výzev, při nichž manipulují s proměnnými, jako jsou povrchové materiály nebo konfigurace ramp, aby pozorovali a porovnávali výsledky. V části c) budoucí učitelé měří hodnoty pH a v části d) prostřednictvím simulací zkoumají adici a subtrakci RGB barev.

Virtuální experimentální úlohy

1. *Jev je zkoumán prostřednictvím interaktivní simulace, nikoli pouhým sledováním statické demonstrace.*
 - Teorie: Digitální badatelství může podporovat experimentování a pozorování prostřednictvím dynamické manipulace s proměnnými (Lazonder & Harmsen, 2016).
 - Důsledek pro návrh: Mají být dostupné možnosti měnit výsledek experimentu prostřednictvím proměnných reprezentujících jednotlivé dimenze experimentu.
 - Indikátor: Studenti manipulují s proměnnými a dynamicky pozorují reakce systému (viz obrázek 4c).
2. *Simulace jsou využívány k modelování jevů, které je obtížné nebo nebezpečné reprodukovat fyzicky ve školních laboratořích.*
 - Teorie: Virtuální prostředí rozšiřují možnosti experimentování tím, že umožňují zkoumat jevy, které jsou ve školních laboratořích nepraktické nebo nebezpečné, a zároveň podporují formulaci hypotéz a vyhodnocování důkazů (Pedaste et al., 2015).
 - Důsledek pro návrh: Virtuální experimenty mají přinášet výhody v oblasti bezpečnosti, zviditelnění jinak skrytých informací nebo využití materiálů a procesů, které by byly jinak nákladné či časově náročné (viz obrázek 4d, kde jsou zviditelněny procesy probíhající v mozku).
 - Indikátor: Virtuální prostředí umožňuje experimentování s parametry, které nejsou v běžné školní třídě či laboratoři dostupné.
3. *Digitální nástroje mohou sloužit jako měřicí zařízení a být součástí samotné učební úlohy.*
 - Teorie: Digitální prostředí mají podporovat pozorování, modelování a sběr dat při systematickém zkoumání vztahů mezi proměnnými (Kuhn, 2002; Pedaste et al., 2015).
 - Důsledek pro návrh: Digitální nástroje mají být přímo propojeny s experimentem, například měřením, a zároveň rozvíjet digitální kompetence.
 - Indikátor: Studenti využívají software, například simulace nebo nástroje pro tvorbu aplikací, jako součást experimentálního procesu.



Ukázka principů a dimenzí na příkladu

Principy návrhu jsou rozloženy napříč jednotlivými částmi popisu experimentu a struktury aktivity. Každý princip je operacionalizován prostřednictvím konkrétních prvků, jako je vymezení problému, instrukce k aktivitě, měřicí úlohy nebo podněty k reflexi.

Příklad struktury

Otevřené vymezení problému: Otevřenost a ukotvení experimentů v reálném světě jsou uvedeny v obecných cílech nebo v naváděcích otázkách, které aktivitu zahajují. Studenti mohou být například vyzváni, aby navrhli objekt ovlivňující průběh experimentu, což je vede ke zkoumání různých materiálů a k měření jiných výsledků než u ostatních skupin.

Omezená komplexita: Adaptace a komplexita se promítají do vymezení omezeného souboru proměnných, s nimiž mohou studenti během aktivity pracovat. Experimenty mohou například omezit zkoumání na konkrétní parametry, jako je materiál povrchu nebo intenzita světelných zdrojů v simulaci.

Ukotvení v důkazech založených na měření: Uvažování založené na důkazech je podporováno strukturovaným sběrem dat během experimentu. Studenti mohou zaznamenávat měření, například čas, hodnoty pH, pozorované barevné výsledky nebo výsledky simulace, a tato pozorování využívat k porovnávání návrhů nebo vyhodnocení původních předpokladů. Tabulky pro sběr dat jsou součástí doprovodných pracovních listů, které lze upravit nebo vytisknout v původní podobě.

Strukturovaná reflexe pro upevnění konceptů: Probíhá prostřednictvím strukturovaných reflexivních úloh navazujících na experimentální aktivitu. Mohou zahrnovat návodné otázky, skupinové diskuse nebo posterové prezentace, v nichž studenti interpretují výsledky a propojují je se základními vědeckými koncepty.

Proveditelnost a kontextová adaptabilita: Prvky jako určení ročníku, odhad délky trvání, seznam zdrojů a návrhy úprav pro jiné ročníky pomáhají učitelům přizpůsobit aktivitu různým třídním kontextům, věkovým skupinám nebo dostupným materiálům.

Šablona návrhu úlohy

Každý experiment má jednotnou strukturu, aby se učitelé mohli rychle zorientovat v jeho účelu, uspořádání a praktických požadavcích a přizpůsobit jej svým potřebám. Praktické i virtuální experimenty mají stejnou strukturu, takže učitelé vždy najdou relevantní informace ve stejných částech a oddílech. Obecné části experimentů jsou:

1. Metadata: ročník, délka trvání
2. Pedagogické rámování: cíle, kompetence, koncepty, výsledky učení
3. Požadavky: předchozí znalosti, zdroje
4. Popis aktivity: experiment / vývoj
5. Podpora výuky: adaptace, hodnocení
6. Podpora studentů: pracovní listy
7. Volitelné doplňky: příprava učitele, média

Přehled poskytuje strukturální informace o cílové skupině, pro kterou je experiment určen, a o souvisejících předmětech a kompetencích, aby učitelé věděli, v jaké části kurikula je experiment vhodné zařadit. Následně učitelé najdou podrobný krokový popis experimentu, který jim pomáhá určit, kde experiment upravit, jaké zdroje se kde využívají a jaké učební materiály jsou rovnou k dispozici, například pracovní listy pro sběr dat. Popis experimentu nabízí narativní přehled toho, jak aktivita probíhá, co studenti dělají a jaký typ učební zkušenosti vytváří.

Přehledová část

1. Každý experiment začíná uvedením **ročníku a časové dotace aktivity**, aby učitelé ihned získali představu o cílové skupině a potřebném času.
2. Následují **kompetence**, které experiment rozvíjí – od kritického myšlení, kreativity, komunikace a spolupráce až po oborově specifické kompetence, jako je vědecké badatelství či analýza dat.
3. **Obecné cíle** rámuji experiment jako otevřený problém nebo výzvu.
4. Část **Předchozí znalosti** vysvětluje, co by studenti měli již znát, aby experiment zvládli. To pomáhá učitelům přizpůsobit úvod do tématu národnímu kurikulu.
5. **Seznam zdrojů a materiálů** uvádí, co si mají studenti přinést a co mají učitelé zajistit či připravit předem. **Koncepty pro STEAM disciplíny a výsledky učení** poskytují přehled konceptuálního a kompetenčního rámce experimentu uspořádaného podle jednotlivých disciplín.

Narativní krokový popis

Samotný **experiment** je popsán krok za krokem a zahrnuje instrukce, otázky, doporučené časování i vědecká vysvětlení. V části Experiment jsou principy návrhu uplatněny následujícím způsobem:

- **Otevřené vymezení problému** je realizováno zahájením experimentu reálným problémem nebo podnětnou otázkou, například proč svíčka přestane hořet nebo jak materiály ovlivňují rychlost autíčka. Tento princip dává studentům smysluplný důvod ke zkoumání, aniž by předem určoval výsledky.
- Aktivita následně vede studenty skrze **omezenou komplexitu** – pracují s vybranými proměnnými, konkrétními materiály, parametry simulace nebo definovanými scénáři pohybu. Komplexita je tak zvládnutelná při zachování autentického badatelství.
- **Ukotvení v důkazech založených na měření** se uskutečňuje prostřednictvím sběru azaznamenávání pozorování a porovnatelných dat do strukturovaných tabulek, například při měření času autíčka, zaznamenávání koncentrací plynů nebo čtení grafů zrychlení.
- Aktivitu uzavírá **strukturovaná reflexe pro upevnění konceptů**, realizovaná prostřednictvím návodných otázek, skupinových diskusí, posterových prezentací nebo úloh zaměřených na zlepšení návrhu. Pomáhá studentům interpretovat výsledky a propojit je s vědeckými koncepty.
- **Udržitelnost, proveditelnost a kontextová adaptabilita** jsou zajištěny dostupnými anízkonákladovými materiály a jednoduchými měřicími nástroji, například papírovými úhloměry nebo stopkami, využitelnými v různých zemích. Součástí jsou i lokální kontextové odkazy – například zmínka o silnici Großglockner v rakouském experimentu s rampami, kterou mohou učitelé v jiných zemích nahradit místně relevantním příkladem.

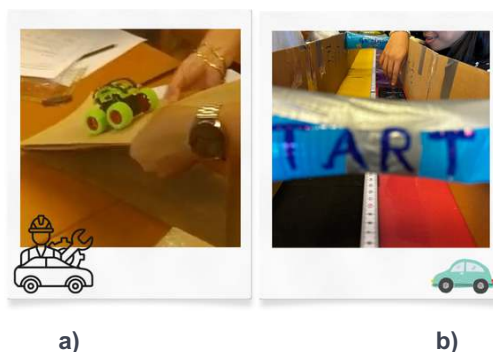
Následují části **Hodnocení a Adaptační pro různé úrovně**, které nabízejí alternativní verze pro mladší nebo pokročilejší studenty. Část **Příprava učitele** shromažďuje doplňující zdroje, jako jsou videa, texty či vysvětlení, aby se učitelé cítili před výukou jistěji. Každý experiment rovněž obsahuje učební materiály, například **pracovní listy pro studenty**, které je provázejí formulací předpokladů, sběrem dat a reflexí, podporují jejich učení i hodnocení učitelem. Pracovní listy zároveň zviditelňují proces sběru dat a umožňují jejich porovnávání mezi skupinami.

Iterativní proces vylepšování úloh

Počáteční verze experimentálních aktivit jsou vytvářeny na základě principů návrhu, podle sdílené šablony a v souladu s pedagogickými a oborovými cíli projektu i příslušnými národními prioritami.

Tyto návrhy slouží jako prototypy umožňující ověřit, jak lze principy návrhu převést do podoby výukových aktivit.

Následně experimenty posuzují ostatní projektoví partneři, kteří hodnotí aktivity z různých kurikulárních a pedagogických perspektiv. Experimenty jsou poté upraveny s cílem zvýšit jejich srozumitelnost, proveditelnost a soulad s principy návrhu. V další fázi jsou implementovány s budoucími učiteli, kteří poskytují zpětnou vazbu (viz obrázek 6) z perspektivy učitelské přípravy, a současně pilotovány se žáky ve školním prostředí. Tento proces pomáhá zajistit, aby byly experimenty funkční, srozumitelné a vhodné pro využití ve výuce.



Obrázek 6. V částech a) a b) budoucí učitelé pilotují a postupně zdokonalují praktický experiment, při němž iterativně vylepšují rampu.

Učitelé, kteří budou pomocí této šablony vytvářet vlastní experimentální aktivity, by měli první verzi chápat jako návrh, který lze dále zdokonalovat prostřednictvím reflexe a ověřování například s kolegy nebo učiteli zapojených předmětů.

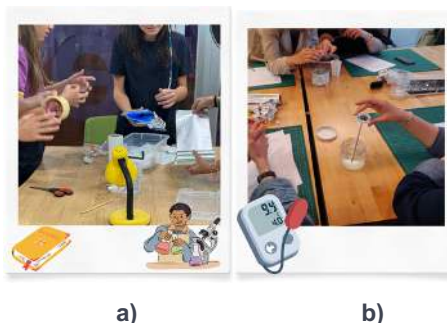
Po vytvoření aktivity by si měli ověřit, zda úloha obsahuje jasně vymezený problém ke zkoumání, zvládnutelný soubor proměnných, s nimiž mohou studenti pracovat, příležitosti ke sběru pozorovatelných důkazů a momenty určené pro reflexi výsledků. Na základě této revize, ideálně prováděné společně s kolegy, lze aktivitu dále upravit – například zjednodušením instrukcí, přizpůsobením materiálů nebo časové náročnosti a zpřesněním naváděcích otázek tak, aby experiment zůstal proveditelný a zároveň podporoval smysluplné zkoumání základních vědeckých konceptů.

Příklad úlohy

Experiment „**Keeping Vaccines Cool**“ využívá reálnou návrhovou výzvu, v níž studenti navrhnou a testují způsoby udržení potřebné teploty v omezených podmínkách, jak ukazuje obrázek 7.

- **Otevřené vymezení problému:** Experiment začíná otevřenou otázkou z reálného světa – jak uchovat vakcíny v chladu v teplém prostředí s omezeným přístupem k energii. Studenti navrhnou a testují vlastní řešení, díky čemuž je úloha smysluplná, kontextově ukotvená a otevřená více možným řešeními.
- **Omezená komplexita:** Proměnné, s nimiž mohou studenti pracovat, jsou omezené. Pohybují se v rámci definovaných parametrů, například dostupných izolačních materiálů, typů nádob nebo strategií chlazení.
- **Ukotvení v důkazech založených na měření:** Studenti systematicky shromažďují data, například změny teploty v čase, dobu chlazení nebo rozdíly ve výkonnosti jednotlivých návrhů. Pozorování jsou strukturována prostřednictvím měření a datových tabulek, což umožňuje porovnávání mezi skupinami a propojení návrhových rozhodnutí s empirickými výsledky.
- **Strukturovaná reflexe pro upevnění konceptů:** Součástí experimentu je vedená interpretace výsledků. Studenti analyzují data, porovnávají řešení a propojují zjištění s vědeckými koncepty, jako jsou přenos tepla, izolace nebo energetická účinnost. Reflexivní fáze proměňuje pozorování v konceptuální porozumění a podporuje jeho formulaci prostřednictvím diskuse nebo prezentace.

- **Udržitelnost, proveditelnost a kontextová adaptabilita:** Experiment využívá dostupné, nízkonákladové materiály a jednoduché měřicí nástroje, což umožňuje jeho využití v různých vzdělávacích prostředích. Struktura zároveň pomáhá učitelům přizpůsobit aktivitu dostupným zdrojům, věku studentů nebo místnímu kontextu při zachování základní logiky badatelského procesu.



Obrázek 7: a) Studenti a budoucí učitelé během praktické aktivity ověřují hypotézu týkající se izolačních materiálů, zatímco b) druhá skupina provádí měření teploty za účelem ověření své hypotézy.

Praktické využití šablony návrhu úlohy vychází ze struktury umožňující rychlou orientaci a snadnou adaptaci:

- **V přehledové části** učitelé naleznou ročník a časovou dotaci, které vymezují rozsah realizace. Kompetence zahrnují průřezové dovednosti, jako jsou spolupráce a kritické myšlení, i oborově specifické dovednosti, například vědecké badatelství a analýza dat. Cíle představují otevřenou návrhovou výzvu, předchozí znalosti vymezují potřebná konceptuální východiska, seznam zdrojů specifikuje materiály a výsledky učení popisují očekávané konceptuální i procedurální přínosy napříč disciplínami.

- **Narativní krokový popis** operacionalizuje principy návrhu. Začíná otevřeným problémem, vede studenty prostřednictvím experimentování s omezenou komplexitou, zahrnuje strukturované měření a uzavírá se reflexí a interpretací výsledků.

- **Část podpory výuky** zahrnuje strategie hodnocení a adaptace pro různé úrovně, které umožňují měnit míru náročnosti bez narušení základní struktury úlohy. **Podpůrné materiály pro studenty**, například pracovní listy, vedou studenty při formulaci předpokladů, sběru dat a reflexi a zajišťují, že badatelský proces zůstává strukturovaný.

Praktické využití šablony návrhu úlohy vychází ze struktury umožňující rychlou orientaci a snadnou adaptaci:

- **V přehledové části** učitelé naleznou ročník a časovou dotaci vymezující rozsah realizace. Kompetence zahrnují průřezové dovednosti, například spolupráci a kritické myšlení, i oborově specifické dovednosti, jako jsou vědecké badatelství a analýza dat. Cíle představují otevřenou návrhovou výzvu, předchozí znalosti vymezují potřebná konceptuální východiska, seznam zdrojů specifikuje materiály a výsledky učení popisují očekávané konceptuální i procedurální přínosy napříč disciplínami.
- **Narativní krokový popis** převádí principy návrhu do praxe. Začíná otevřeným problémem, provází studenty experimentováním s omezenou komplexitou, zahrnuje strukturované měření a uzavírá se reflexí a interpretací výsledků. Každá fáze je propojena s tím, co studenti dělají, co pozorují a jak uvažují.
- **Část podpory výuky** obsahuje strategie hodnocení a úpravy pro různé úrovně obtížnosti, aniž by se měnila základní struktura úlohy. **Podpůrné materiály pro studenty**, například pracovní listy, vedou formulaci předpokladů, sběr dat i reflexi a pomáhají zachovat strukturovaný badatelský proces.

Očekávaný vzdělávací přínos a doporučení

Pro studující

Práce s experimentálními aktivitami zapojuje studenty do strukturovaných badatelských procesů, v nichž je uvažování úzce propojeno s pozorovatelnými jevy. Úlohy vyžadují formulaci předpokladů, manipulaci s proměnnými, získávání měřitelných důkazů a interpretaci výsledků ve vztahu k vědeckým konceptům. Experimentování se tak stává prostředkem rozvoje badatelských kompetencí prostřednictvím těchto procesů.

Návrh aktivit zároveň podporuje strukturované postupy uvažování. Jak ukazuje obrázek 8, experiment je uspořádán tak, aby studenty vedl k porovnávání výsledků mezi skupinami, interpretaci rozdílů v měřeních a propojování pozorování se základními fyzikálními, matematickými či chemickými mechanismy. Proces uvažování je tak zviditelněn a podporuje diskusi založenou na důkazech. Součástí aktivit jsou reflexivní fáze zaměřené na upevnění konceptuálního porozumění a explicitní zachycení procesu uvažování. Tyto prvky podporují formulaci vysvětlení, vyhodnocování důkazů i revizi původních předpokladů. Studenti se seznamují s vědeckými koncepty v souvislosti s praktickými problémy, protože experimentální úlohy jsou zasazeny do kontextových scénářů a interdisciplinárních témat. Toto kontextové ukotvení může podporovat přenos mezi oborovými znalostmi a širšími STEM souvislostmi. Aktivity tak propojují konceptuální porozumění s interpretací jevů reálného světa.

Pro vyučující

Doporučení podporují učitele v porozumění tomu, jak vnitřní struktura experimentálních úloh utváří procesy učení ve třídě. Rámec zviditelňuje epistemickou strukturu experimentů prostřednictvím popisu prvků, jako jsou vymezení problému, organizace proměnných, postupy měření a reflexivní fáze. Tento přístup může učitelům pomoci lépe porozumět tomu, jak návrh úloh ovlivňuje uvažování studentů a jejich spolupráci během badatelských aktivit.

Rámec zároveň posiluje povědomí učitelů o facilitaci v badatelsky orientovaném prostředí. Experimentální úlohy často vyžadují, aby učitelé současně řídili více procesů, včetně spolupráce studentů, interpretace výsledků a konceptuálního vyjasňování. Tím, že doporučení explicitně popisují strukturu úloh, pomáhají učitelům tyto nároky předvídat a pružně na ně reagovat během výuky. Rámec zároveň přispívá k rozvoji kompetence učitelů v oblasti návrhu výukových aktivit. Popsané dimenze mohou učitelé využít k analýze existujících experimentů, přizpůsobení aktivit místním podmínkám nebo tvorbě nových experimentálních úloh založených na obdobných principech. Tento přístup chápe experimenty nejen jako výukové aktivity, ale i jako předmět profesní reflexe v přípravě učitelů.

Pro tvorbu vzdělávací politiky a kurikula

Principy poskytují strukturovaný přístup k tvorbě experimentálních STEM úloh, které lze realizovat v různých vzdělávacích systémech. Doporučení podporují přizpůsobení různým kurikulárním rámcům, laboratorní infrastruktuře i podmínkám výuky tím, že se zaměřují na vnitřní strukturu experimentů.

Dimenze návrhu popsané v tomto rámci zároveň podporují porovnatelnost experimentálních aktivit vznikajících v různých kontextech. Díky sdíleným prvkům, jako jsou konceptuální zaměření, struktury měření a reflexivní fáze, mohou být úlohy analyzovány a dále rozvíjeny napříč partnerskými institucemi. To umožňuje společný vývoj a evaluaci experimentálních aktivit v rámci mezinárodních projektů STEM vzdělávání. V širším smyslu rámec přispívá k diskusi o tom, jak lze badatelsky orientované učení operacionalizovat ve STEM vzdělávání. Převádí kurikulární důrazy na badatelství, průřezové kompetence a kontextově ukotvené řešení problémů do konkrétních prvků návrhu úloh, a nabízí tak praktický referenční rámec pro iniciativy usilující o začlenění strukturovaného experimentování do výuky v evropských vzdělávacích kontextech.

Literatura

- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141–178. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0202_2
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. (2012). Lehrpläne. <https://www.bmb.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/lp.html>
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. (2014). Unterrichtsprinzip Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung. Wien. <https://www.bmb.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/prinz/umweltbildung.html>
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. (2018). Masterplan Digitalisierung im Bildungswesen. Wien. <https://www.bmb.gv.at/Themen/schule/zrp/dibi/mp.html>
- Bybee, R. W. (2013). The case for STEM education: Challenges and opportunities. NSTA Press.
- Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 543–547. <https://doi.org/10.1021/ed076p543>
- European Commission. (2018). Council Recommendation of 22 May 2018 on key competences for lifelong learning. Official Journal of the European Union, C189/1–C189/13. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018H0604\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018H0604(01))
- Eurydice. (2023a). Finland – National Education System Overview. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/national-education-systems/finland>
- Eurydice. (2023b). Czechia – National Education System Overview. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/national-education-systems/czechia>
- Eurydice. (2023c). Türkiye – National Education System Overview. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/national-education-systems/turkiye>
- Eurydice. (2023d). Austria – National Education System Overview. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/national-education-systems/austria>
- Finnish National Agency for Education. (2016). National core curriculum for basic education 2014. <https://www.oph.fi/en/education-system/national-core-curriculum-basic-education>
- Fisk, M. (2024). The World at Play: Exploring the impact of an out-of-school learning environment on classroom teachers' thinking and teaching practices. University of Lapland. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2025031718173>
- Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 3–24). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-5267-5_1
- Henriksen, D. (2017). Creating STEAM with design thinking: Beyond STEM and arts integration. *The STEAM Journal*, 3(1). <https://doi.org/10.5642/steam.20170301.11>
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Kuhn, D. (2002). What is scientific thinking and how does it develop? In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 371–393). Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780470996652.ch17>
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681–718. <https://doi.org/10.3102/0034654315627366>
- Liao, C. (2016). From interdisciplinary to transdisciplinary: An arts-integrated approach to STEAM education. *Art Education*, 69(6), 44–49. <https://doi.org/10.1080/00043125.2016.1224873>
- McAuley, E., Duncan, T., & Tammen, V. V. (1989). Psychometric properties of the Intrinsic Motivation Inventory in a competitive sport setting: A confirmatory factor analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 60(1), 48–58. <https://doi.org/10.1080/02701367.1989.10607413>

- Millî Eğitim Bakanlığı (MoNE). (2018). Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (Primary and Lower Secondary Science Curriculum). Ankara: MoNE.
- Ministry of Education and Culture. (2023). Finnish national STEM strategy and action plan: Experts in natural sciences, technology and mathematics in support of society's welfare and growth. Publications of the Ministry of Education and Culture 2023:22.
- Ministry of Education, Youth and Sports Czech Republic. (2021). Framework Educational Programme for Basic Education. <https://www.msmt.cz>
- Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2009). Inquiry-based science instruction—What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984–2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474–496. <https://doi.org/10.1002/tea.20347>
- Ministry of National Education Türkiye. (2018). Science Curriculum. Ankara: MoNE. <https://mufredat.meb.gov.tr>
- MINT Gütesiegel. (2025) <https://www.mintschule.at/>
- MINT Best Practices (2021). [www.mintschule.at. https://www.mintschule.at/wp-content/uploads/mintschule.at_praxisleitfaden_21-07.pdf](https://www.mintschule.at/wp-content/uploads/mintschule.at_praxisleitfaden_21-07.pdf)
- National Research Council. (2012). A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- OECD. (2023). PISA 2022 results. Paris: OECD Publishing. <https://www.oecd.org/en/about/programmes/pisa/pisa-publications.html>
- OECD. (2020). Education Policy Outlook – Country Profiles. <https://www.oecd.org/education/policy-outlook/>
- Opetushallitus. (2014). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014. Opetushallitus. https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/perusopetuksen_opetussuunnitelman_perusteet_2014.pdf
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54–67. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic Books.
- Sherin, M. G. (2007). The development of teachers' professional vision in video clubs. In R. Goldman, R. Pea, B. Barron, & S. J. Derry (Eds.), *Video research in the learning sciences* (pp. 383–395). Lawrence Erlbaum.
- Sweller, J. (2019). Cognitive load theory and educational technology. In J. Sweller, S. Ayres, & S. Kalyuga (Eds.), *Advances in cognitive load theory* (pp. 1–12). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429283895>
- UNESCO. (2017). Education for sustainable development goals: Learning objectives. Paris: UNESCO. https://www.unesco.at/fileadmin/Redaktion/Publikationen/Publikations-Dokumente/2017_Education_for_SDG.pdf
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the exemplary STEAM education in the U.S. as a practical educational framework for Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(6), 1072–1086.

Projekt STExperiMents KA220-SCH-34903829 byl financován Evropskou unií. Zvláštní poděkování patří školám a festivalům, které podporují ověřování experimentálních úloh v reálných podmínkách.



Erasmus+