

Bakalářská práce

TVORBA NESTANDARDIZOVANÉHO DIDAKTICKÉHO TESTU

CREATION OF A NON-STANDARDIZED DIDACTIC
TEST

Studijní program
SPECIALIZACE V PEDAGOGICE

Studijní obor
UČITELSTVÍ ODBORNÝCH PŘEDMĚTŮ

Vedoucí práce
PROF. RNDr. EMANUEL SVOBODA, CSc.

PETR NAVRÁTIL

2017

NAVRÁTIL, Petr. *Tvorba nestandardizovaného didaktického testu.* Praha: ČVUT 2017.
České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.



**MASARYKŮV ÚSTAV
VYŠŠÍCH STUDIÍ
ČVUT V PRAZE**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval a uvádím je v přiloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne 25. srpna 2017.

Podpis:

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce za projevenou trpělivost a povzbuzování v závěrečné fázi sepisování. Dále děkuji Dr. Raškovi za vstřícnost a za spoustu času, který mi věnoval a samozřejmě za věcné připomínky k testu. Hlavně ale děkuji mé nejmilejší Helence za to, že mě nechala pracovat dlouho do noci, a přitom asi ani nemohla spát a celkově za to, že **je**.

Abstrakt

Tato práce zpracovává téma tvorby učitelských testů se zaměřením na jejich vyhodnocování. Cílem práce je najít způsob, jak hodnotit didaktické testy, aby přinášely hodnotnou zpětnou vazbu studentovi i vyučujícímu v podobě slovního hodnocení. Byl proto vytvořen postup, podle kterého je k testovanému učivu nutné vytvořit strukturovaný soubor cílů a ty při vyhodnocování testu porovnávat s projevenými znalostmi a dovednostmi. Výstupem hodnocení je soubor naplněných a nenaplněných cílů, se kterými je nutné dále pracovat. Práce tak vytváří přístup, jak kontrolovat cíle a kompetence stanovené vzdělávacími programy.

Klíčová slova

Měření výsledků výuky, tvorba didaktických testů. Didaktické testy nestandardizované, didaktické testy ověřující, kognitivní didaktické testy, didaktické testy z odborných předmětů. Didaktické testy ověřující naplnění požadovaných kompetencí, didaktické testy ověřující intelektové dovednosti. Didaktické testy fyzikálních poznatků, vlnová optika.

Abstract

This work is about creation of didactic tests with a focus on the tests evaluation. The aim of the thesis is to find a way to evaluate the tests to bring valuable feedback to the student and the teacher in the form of verbal evaluation. Therefore, a procedure has been created in order to establish a structured set of objectives for the subject to be taught and to compare them with the demonstrated knowledge and skills when evaluating the test. The output of the evaluation is a set of filled and unfulfilled goals that need to be further analyzed. The work thus creates an approach for direct controlling the goals and competencies set by the educational programs.

Keywords

Measurement of the results of the teaching; creation of didactic tests. Non-standardized didactic tests; achievement didactic tests; cognitive didactic tests; didactic tests of vocational subjects. Didactic tests to verify the fulfillment of required competencies; didactic tests verifying intellectual skills. Didactic tests of physical knowledge; wave optics.

OBSAH

Obsah.....	8
Seznam tabulek	11
Seznam obrázků.....	13
Seznam zkratek.....	15
Úvod.....	16
Teoretická část	20
1 Didaktické testy.....	21
1.1 Pojmový aparát.....	21
1.2 Dobrý didaktický test.....	22
1.3 Klasifikace didaktických testů	24
1.4 Výukové cíle	26
1.5 Druhy testových úloh	28
2 Tvorba didaktického testu	30
2.1 Plánování didaktického testu.....	30
2.1.1 Upřesnění obsahu testu.....	31
2.1.2 Další části testové specifikace.....	32
2.2 Konstrukce testu	33
Praktická část.....	36
3 Komplexní vyhodnocování didaktického testu.....	37
3.1 Klasifikace cílů	42
3.2 Komplexní vyhodnocení testu	45
3.2.1 Vyhodnocení testové úlohy.....	45

3.2.2 Celkové vyhodnocení testu	46
4 Plánování testu	48
4.1 Účel a rámcový obsah testu	48
4.2 Testová specifikace	49
4.2.1 Analýza učiva.....	49
4.2.2 Návaznosti	50
4.2.3 Upřesnění obsahu pomocí specifikační tabulky	51
4.2.4 Upřesnění obsahu pomocí seznamu výukových cílů	52
5 Konstrukce testu	55
5.1 Celková koncepce testu	55
5.2 Promítnutí klíčových a hlavních cílů do testu	56
5.3 Gradace úloh testu.....	58
5.4 Doprovodný text testu	58
5.5 Úlohy prototypu testu.....	58
5.6 Shrnutí.....	89
6 Vyhodnocení prototypu testu	90
6.1 Skórování testu.....	90
6.2 Komplexní vyhodnocení	91
6.2.1 Vyhodnocení úloh testu.....	91
6.2.2 Vyhodnocení testu.....	91
7 Zhodnocení práce	94
Závěr.....	96
Přílohy.....	98
A Rámcový vzdělávací program.....	99
A.1 Rámcový vzdělávací program pro obor elektrotechnika.....	99
A.2 Rámcový vzdělávací program pro obor informační technologie.....	99
B Školní vzdělávací program.....	100

B.1 Učební plán na spolupracující škole.....	100
B.2 Školní vzdělávací program na spolupracující škole.....	100
C Tematický plán na spolupracující škole.....	102
D Skica výukových cílů.....	104
E Návrh úloh testu.....	108
F Vytvořený prototyp testu	122
F.1 Varianta A	122
F.2 Varianta B	122
G Tabulky správných odpovědí.....	131
Literatura.....	133

SEZNAM TABULEK

T I.1 Míra vhodnosti druhů testových úloh vzhledem k testované úrovni osvojení učiva podle Niemierkovy taxonomie. Míra vhodnosti rozvrstvena: 0 – nevhodný, 1 – vhodný, 2 – velmi vhodný. Úroveň osvojení je rozvrstvena: A – zapamatování poznatků, B – porozumění poznatkům, C – používání vědomostí v typových situacích, D – používání vědomostí v problémových situacích. Převzato a upraveno z [5, p. 65].....	34
T II.1 Strukturovaná soustava cílů úlohy s vícenásobnou odpovědí.....	38
T II.2 Strukturovaná soustava cílů přiřazovací úlohy.....	40
T II.3 Strukturovaná soustava cílů úlohy se širokou odpovědí.....	41
T II.4 Úrovně cílů podle hlediska důležitosti.....	44
T II.5 Úrovně cílů podle hlediska kontrolovatelnosti.....	44
T II.6 Přiřazení důležitostí vytyčeným cílům.....	51
T II.7 Specifikační tabulka pro vytvářený prototyp testu. Úroveň osvojení je rozvrstvena podle Niemierkovy taxonomie výukových cílů: A – zapamatování poznatků, B – porozumění poznatkům, C – používání vědomostí v typových situacích, D – používání vědomostí a dovedností v problémových situacích.....	52
T II.8 Klíčové cíle prototypu testu.....	57
T II.9 Strukturovaná soustava cílů první úlohy.....	59
T II.10 Strukturovaná soustava cílů druhé úlohy.....	61
T II.11 Strukturovaná soustava cílů třetí úlohy.....	63
T II.12 Strukturovaná soustava cílů čtvrté úlohy.....	64
T II.13 Strukturovaná soustava cílů páté úlohy.....	66
T II.14 Strukturovaná soustava cílů šesté úlohy.....	68
T II.15 Strukturovaná soustava cílů sedmé úlohy.....	71
T II.16 Strukturovaná soustava cílů osmé úlohy.....	73
T II.17 Strukturovaná soustava cílů deváté úlohy.....	75

T II.18	Strukturovaná soustava cílů desáté úlohy.	77
T II.19	Strukturovaná soustava cílů 11. úlohy.	78
T II.20	Strukturovaná soustava cílů 12. úlohy pro variantu A.	81
T II.21	Strukturovaná soustava cílů 12. úlohy pro variantu B.	82
T II.22	Strukturovaná soustava cílů 13. úlohy.	85
T II.23	Strukturovaná soustava cílů 14. úlohy.	88
T II.24	Souhrn vlastností testových úloh. Úroveň osvojení je rozvrstvena podle Niemierkovy taxonomie výukových cílů: A – zapamatování poznatků, B – porozumění poznatkům, C – používání vědomostí v typových situacích, D – používání vědomostí v problémových situacích.	89
T II.25	Hodnocení deseti vybraných studentů třídy C2b.	90
T II.26	Celkové vyhodnocení prototypu testu.	91
T II.27	Zhodnocení naplnění měřitelných a dílčích cílů deseti vybraných studentů třídy C2b.	91
T II.28	Zhodnocení naplnění hlavních cílů deseti vybraných studentů třídy C2b.	92
T II.29	Zhodnocení naplnění měřitelných a dílčích cílů deseti vybraných studentů třídy C2b.	93
T II.30	Zhodnocení naplnění klíčových cílů deseti vybraných studentů třídy C2b.	93
T III.1	Transformace RVP do ŠVP na spolupracující škole.	100
T III.2	Týdenní počty hodin pro obory Elektrotechnika a Programování a aplikace počítačů.	100
T III.3	Vybraná část časově tematického plánu pro 2. ročník střední průmyslové školy ve 2. pololetí školního roku 2016/2017.	103
T III.4	Přiřazení důležitostí vytyčeným cílům.	104
T III.5	Tabulka k úloze 7 návrhu testu.	110
T III.6	Klíč správných odpovědí používaný při vyhodnocování testu varianty A.	131
T III.7	Klíč správných odpovědí používaný při vyhodnocování testu varianty B.	132

SEZNAM OBRÁZKŮ

O II.1 Nákres k zákonu odrazu a lomu.....	50
O II.2 Vlnoplochy s vyznačením paprsků.	65
O II.3 Šíření vlny pomocí Huygensova principu.	66
O II.4 Nákres k zákonu lomu.	67
O II.6 Nákresy k úloze 7 prototypu testu.....	70
O II.6 Nákres lomu ke kolmici a lomu od kolmice.....	72
O II.7 Nákres možností průchodu optickým rozhraním.....	74
O II.8 Nákres k úloze 10.	76
O II.9 Šíření paprsků mezi různými optickými prostředími.....	78
O II.10 Nákresy k úloze 11 prototypu testu.	79
O II.11 Nákres k úloze 12 pro variantu A testu.....	80
O II.12 Nákres k úloze 12 pro variantu B testu.....	83
O III.1 Nákresy k úloze 10 návrhu testu.	111
O III.2 Nákresy k úloze 14 návrhu testu.	113
O III.3 Nákres k úloze 15 návrhu testu.....	113
O III.4 Nákres k úloze 21 návrhu testu.....	115
O III.5 Nákres k úloze 22 návrhu testu.....	116
O III.6 Nákres k úloze 26 návrhu testu.....	117
O III.7 Nákres k variantní úloze 26 návrhu testu.	117
O III.8 Nákresy k úloze 31 návrhu testu.	118
O III.9 Nákres k úloze 39 návrhu testu.....	121
O III.10 Nákres k variantní úloze 39 návrhu testu.	121
O III.11 Fotokopie první strany testu varianty A.	123
O III.12 Fotokopie druhé strany testu varianty A.	124
O III.13 Fotokopie třetí strany testu varianty A.	125
O III.14 Fotokopie poslední strany testu varianty A.....	126

O III.15 Fotokopie první strany testu varianty B.	127
O III.16 Fotokopie druhé strany testu varianty B.	128
O III.17 Fotokopie třetí strany testu varianty B.....	129
O III.18 Fotokopie poslední strany testu varianty B.....	130

SEZNAM ZKRATEK

DDT	Dobrý didaktický test
DT	Didaktický test
PB	Pomocný bod
RVP	Rámcový vzdělávací program
SPŠ	Střední průmyslová škola
SPŠE	Střední průmyslová škola elektrotechnická
ŠVP	Školní vzdělávací program
TK	Třídní kniha
TP	Tematický plán
UPŠ	Učební plán školy
VH	Vyučovací hodina

ÚVOD

Zjišťování stavu vědomostí a dovedností pomocí testů je běžnou součástí pedagogické praxe. Je proto velice užitečné se seznámit s procedurou tvorby učitelského didaktického testu (dále jen DT).

Didaktické testy mohou přinášet velmi hodnotné a komplexní informace o intelektových dovednostech studentů [1], které ale bývají většinou nevyužity, neboť vyhodnocení testů se zužuje na přidělení *skóre* za správnou, částečnou nebo nesprávnou odpověď a korektní nebo chybné řešení příkladů. Takové testování nesplňuje tvrzení, že: „hodnocení výsledků učení informuje studenta, do jaké míry zvládl požadované kompetence, v čem se má zlepšit, jak by měl postupovat při odstraňování zjištěných nedostatků. Hodnocení má také povzbuzovat studenta k další práci a je často hlavním motivem pro studentovu činnost“ [2, p. 135]. Zmíněný způsob vyhodnocení testů studentům nepřináší žádné informace o jejich intelektových dovednostech, není schopen studentům zprostředkovat *cílenou* zpětnou vazbu a není ani schopen rozlišit zdroje chyb v odpovědích.

Je proto přirozené přidat k testovému skóre i slovní hodnocení, z něhož by jasně vyplynulo, které kladené požadavky student splnil, jaké jsou jeho rozvinuté dovednosti a v čem se má naopak zlepšit. Student tak může získat zmíněnou motivaci pro následující práci.

Vytyčení cíle práce

Práce se snaží přinést vhled do problematiky tvorby DT schopných odhalit naplnění konkrétních kompetencí a najít rozvinuté dovednosti testovaných studentů. Současně ale práce nemá ambice jakýmkoliv způsobem diskutovat téma zavádění slovního hodnocení na školách.

Hlavním cílem práce je vytvoření *vzorového DT* shrnujícího stanovené téma s komplexním vyhodnocením pro studenty 2. ročníku střední průmyslové školy. Vedlejším cílem je vytvořit *návod pro tvorbu DT*, který bude komplexně vyhodnocovat splnění kladených požadavků a dovednosti testovaných studentů. V zadání bakalářské práce je pro

vytvářený DT stanoven tematický okruh Fyzika mikrosvětla, který mi byl v době tvorby zadání (říjen 2016) přislíben učitelem spolupracující školy. Avšak, vzhledem k původně plánovanému termínu odevzdání této práce (5. května 2017) a mírnému zpoždění výuky na spolupracující škole oproti studijnímu plánu, muselo dojít ke změně tematického okruhu DT. Vzhledem k oborové blízkosti byl zvolen tematický okruh Světlo jako vlnění, který podle učebního plánu předcházel původně stanovenému okruhu. Bohužel vinou autora nedošlo ke přepsání tematického okruhu do zadání bakalářské práce.

Výzkumná otázka byla stanovena: „*Jak komplexně vyhodnotit DT, aby podal co nejvíce informací o nabytých kompetencích a intelektových dovednostech testovaného studenta?*“ Problém je řešen jako *popisný výzkumný problém*, popisuje proceduru tvorby nestandardizovaného DT, který *komplexně vyhodnocuje* testovaného vzhledem k naplnění požadovaných kompetencí a k jeho intelektovým dovednostem.

Výzkumný problém je řešen jako *popisný*. Práce je řešena jako teoretická, v jejímž rámci ale proběhlo ověření prototypu testu, jenž zahrnuje pilotáž na střední průmyslové škole, vyhodnocení testu a jeho doladění.

Časová posloupnost řešení tématu

Východiskem řešení práce bylo v první fázi studium pedagogické a psychologické literatury. Při studiu přehledové literatury jsem se zaměřil především na odbornou didaktickou literaturu [3, 4, 5], na klasickou didaktickou literaturu [1, 6] a novější publikace z oborové didaktiky [7, 8, 9]. Prostudoval jsem i časopisecké příspěvky. Získané poznatky posloužily k vhledu autora do problematiky tvorby DT, k ověření, zda a jak ostatní autoři přistupovali k vytyčenému výzkumnému problému a k získání schopnosti hloubkové analýzy kurikulárních dokumentů.

V rámci druhé fáze jsem vytvářel DT, k jehož pilotáži došlo na vybrané střední škole. Při samotné tvorbě DT jsem využil znalostí získaných v první fázi, přičemž jsem analyzoval odbornou literaturu (používaná učebnice) a kurikulární dokumenty. Vzhledem k oborovému zaměření střední průmyslové školy, na které proběhla pilotáž testu jsem studoval Rámcový vzdělávací program (dále jen RVP) pro elektrotechniku [10] a informační technologie [11]. Kvůli adaptaci testu do konkrétních podmínek školy i příslušné Školní vzdělávací programy (dále jen ŠVP) a učební plán školy (dále jen UPŠ).

V následující fázi jsem vytvořil *postup* popisující tvorbu položky testu s komplexním vyhodnocením odpovědi a *metodiku* pro *komplexní vyhodnocení* celého DT. Tato fáze je stěžejní částí práce v jejímž rámci došlo i k vyhodnocení dat získaných při pilotáži testu. Získal jsem výstupy *komplexních hodnocení* pro studenty, a v neposlední řadě jsem také ověřil funkcionalitu navržených *postupů*.

V závěrečné fázi jsem celkově zhodnotil provedený výzkum a diskutoval jsem užitečnost a praktickou využitelnost vytvořeného *postupu*.

Věcný obsah

Teoretická část sestává z úvodní přehledové kapitoly shrnující znalosti získané studiem literatury a zaměřuje se především na oblast stanovování výukových cílů. V následující kapitole jsou shrnuty poznatky o tvorbě DT, kde je konfrontován přístup stanovování skóre se schopností testu ověřovat naplnění stanovených cílů.

V úvodu praktické části je popsán přístup ke komplexnímu vyhodnocování testů a je zde pomocí příkladů poukazováno na výhody a nevýhody tohoto přístupu. V dalších částech je popsáno plánování, konstrukce a vyhodnocení vytvářeného testu, a to jak standardními postupy, tak komplexně. Na závěr jsou diskutovány přínosy komplexního vyhodnocování a možnosti jeho úprav a rozšíření.

Práce je doplněna výtahy z dokumentů, na základě kterých byl test vytvářen.

TEORETICKÁ ČÁST

1 DIDAKTICKÉ TESTY

Do češtiny se slovo test dostalo z angličtiny, kde se jím „obecně označuje zkouška, nebo postup zkoumání kvality, hodnoty“ [1, p. 8]. Testování je složkou pedagogické diagnostiky a DT je jedním ze základních pojmů tohoto oboru.

Pojmem DT se označuje ověřený soubor úloh z učiva sestavený tak, aby bylo možné na základě průběhu a výsledků jeho měření možné objektivně posoudit kvalitu a stupeň osvojených vědomostí a myšlenkových schopností studentů [7, p. 369, 1, p. 9]. DT je nástrojem systematického zjišťování výsledků výuky. Ve školské praxi se DT zužuje do podoby písemné zkoušky sestavené z úloh s výběrem odpovědí [1, p. 8].

1.1 Pojmový aparát

K přesnému vymezení pojmu DT je tedy potřeba definovat další pojmy.

Diagnostika je „zjišťování stavů vědomostí, dovedností, získaných návyků a rozvoje osobnosti studenta jako výsledek výchovně vzdělávací práce a jejich srovnávání s vytyčenými cíli“ [2, p. 135].

„**Cílem** vyučování chápeme zamýšlený a očekávaný výsledek, k němuž učitel v součinnosti se žáky směřuje. Tento výsledek je vyjádřen ve změnách, jichž se prostřednictvím vyučování dosahuje ve vědomostech, dovednostech, vlastnostech studentů, v utváření jejich hodnotové orientace i v jejich osobnostním rozvoji“ [12, p. 106].

Výuka je vzájemným působením učitelů (vychovávajících subjektů) a studentů (vychovávaných objektů) v rámci organizované výchovy. Toto působení je uskutečňováno vyučováním učitele a učením studentů [1, p. 9]. *Výsledky výuky* jsou změny v osobnosti studenta dosažené výukou.

Měření je „poznávací proces spočívající v tom, že na základě předem získaného číselného systému, izomorfního s empirickým systémem, se experimentálně zjišťují číselné hodnoty veličin charakterizující některé znaky pedagogických objektů a jevů“ [1, p. 10].

Testové skóre je výsledek studenta v testu. Závisí na úrovni učení a vyučování, ale také na vlastnostech samotného testu [1, p. 16].

Komplexní vyhodnocení DT je procedura, při které je vyhodnoceno, které výstupy vzdělávání (podle RVP) si student osvojil a které odborné kompetence (podle RVP) splnil, dále jsou ohodnoceny znalosti a intelektové dovednosti studenta.

1.2 Dobrý didaktický test

Dobrý DT (dále jen DDT) je nástroj měření výuky používaný k získání informací, které jsou potřebné k výukovým rozhodnutím [1, p. 15]. Nejčastěji se tyto rozhodnutí týkají klasifikace studentů, dále úpravy výuky za účelem plnění stanovených výukových cílů, úpravy osnov a učebních textů a v neposlední řadě k přijetí zájemců o studium s vhodnými předpoklady.

Aby DT dobře sloužil stanoveným účelům, musí mít vlastnosti DDT [2, p. 143], mezi něž patří [1, p. 16, 7, p. 376]:

- validita, reliabilita, praktičnost (resp. ekonomičnost) jako hlavní vlastnosti
- objektivnost a citlivost jako další vlastnosti

Validita posuzuje přiměřenost DT vzhledem k účelu, ke kterému má test sloužit. Rozlišuje se několik kategorií validity. *Kriteriální validita* vyjadřuje míru shody výsledků DT se znakem, jehož úroveň má výsledek testu předpovídat a *obsahová validita* vyjadřuje míru souladu obsahu testu s oblastí, ve které měříme výkon testovaného [1, p. 17].

Reliabilita klade požadavky na testem prováděné měření. Test má tím vyšší *přesnost*, čím se změřené výsledky testu méně liší od skutečnosti. Test má tím vyšší *spolehlivost*, čím jsou menší rozdíly ve výsledcích testu získané při různých měřeních [1, p. 18]. Míru reliability ovlivňuje řada činitelů, jedním z hlavních je počet úloh testu.

Reliabilitu testu sestaveného z obsahově homogenních testových úloh, kde za každou odpověď přidělujeme jeden nebo žádný bod lze koeficient reliability r vypočítat podle Kuderova-Richardsonova vzorce [7, p. 376]

$$r = \frac{M}{M-1} \left(1 - \frac{1}{s^2} \sum_{m=1}^M p_m q_m \right), \quad (I.1)$$

kde M je celkový počet testových úloh, p_m je relativní četnost správných odpovědí na m -tou úlohu, $q_m = 1 - p_m$ je relativní četnost špatných odpovědí na m -tou úlohu a s je směrodatná odchylka pro celkové výsledky studentů v testu.

Praktičnost testu spočívá v jeho snadném zadávání, vyhodnocování, skórování a vyjadřování výsledků. DT představují výhodu především z hlediska časové úspory, neboť v relativně krátkém čase umožňují vyzkoušet celou třídu (populaci). Vyhodnocení testu by mělo být navrženo tak, aby mohlo proběhnout strojově. Praktičnost je z hlediska důležitosti druhotná a neměla by být prosazována na úkor validity a reliability [1, p. 18].

Objektivnost se týká podmínek testování, přičemž se vyžaduje, aby nedocházelo ke zkreslování výsledků testu. Vyžaduje se jednak správnost zadání a vyhodnocení testu, dále pak, aby byly dosaženy shodné podmínky pro všechny studenty v průběhu samotného testování.

Citlivost je vlastnost testu zaručující rozlišit studenty s lepšími intelektovými dovednostmi od studentů s horšími intelektovými dovednostmi. Položka má větší citlivost, jestliže ji studenti s lepšími intelektovými dovednostmi řeší s vyšší úspěšností než studenti s horšími intelektovými dovednostmi.

Pro určení citlivosti položek testu je nezbytné celkový počet testovaných studentů N rozdělit podle získaného testového skóre na stejně početné skupiny čítající kN studentů. Do první skupiny zařadíme studenty, kteří dosáhli v testu nejlepších celkových skóre, do druhé skupiny zařadíme studenty s nejhoršími celkovými skóry. Nejjednodušeji lze citlivost d_m pro m -tou položku testu určit např. koeficientem ULI [7, p. 394] podle vzorce

$$d_m = \frac{N_m^{(U)} - N_m^{(L)}}{kN}, \quad (I.2)$$

kde $N_m^{(U)}$ je počet studentů ze skupiny s nejlepšími skóry, kteří zodpověděli m -tou úlohu správně a $N_m^{(L)}$ je počet studentů ze skupiny s nejhoršími skóry, kteří m -tou úlohu zodpověděli taktéž správně. Volba koeficientu k závisí na volbě početnosti skupin studentů.

Pro dosažení co možná nejvyšší reliability, jsem se rozhodl testovat splnění některých cílů hned několika položkami, díky čemuž došlo ke zvýšení počtu testových úloh. Dále jsem se rozhodl vytvářet varianty testu pomocí variace uspořádání nabídek odpovědí. Takto budou testování studenti rozděleni do několika skupin, avšak dostanou shodný test.

Vzhledem k časové náročnosti přípravy testu jsem se kvůli zvýšení ekonomičnosti testu rozhodl provést test ve třech paralelních třídách. Celková časová náročnost se tak sice zvýšila, ale vzhledem k relativně malé časové náročnosti vyhodnocení testu došlo celkově k efektivnějšímu využití testu.

1.3 Klasifikace didaktických testů

Podle didaktické literatury [1, pp. 19-27, 8] je možné DT třídit podle

- měřené charakteristiky výkonů na testy úrovně a rychlosti
- dokonalosti přípravy a vybavení testu na standardizované a nestandardizované testy
- povahy činnosti testovaného na testy výstupů poznávacího a psychomotorického učení
- míry specifičnosti učení zjišťovaného testem na testy výsledků výuky a testy studijních předpokladů
- interpretace výkonu testu na testy ověřující a rozlišující
- časového řazení do výuky na testy vstupní, průběžné a výstupní
- tematického rozsahu na testy monotematické a polytematické
- míry objektivity skórování na testy objektivně a subjektivně skórovatelné

Test úrovně je test bez časového omezení sestávající z testových položek se stupňujícími požadavky na zkoušeného. Kritériem úspěšnosti je nejvyšší složitost úlohy, kterou je testovaný schopen vyřešit. Test zkouší komplexnost znalosti a dovednosti řešitele testu.

Test rychlosti je test s časovým omezením sestávající z jednoduchých úloh. Kritériem úspěšnosti v testu je množství vyřešených úloh. Test zkouší pohotovost a rychlost řešitele testu.

Standardizovaný test slouží k opakovanému měření s rozsáhlými soubory studentů. Je připraven profesionálně zpravidla specializovanou institucí. Je vybaven testovou příručkou, ve které jsou uvedeny vlastnosti testu, jsou vymezeny podmínky a postupy pro testování, skórování a interpretaci výsledků. Díky hromadnému provádění měření a zpracování výsledků test dokáže vyjádřit výkon testovaného vzhledem k výkonům populace, na které je test použit. *Nestandardizovaný* (zpravidla nazývaný učitelský) test slouží ke zjištění výsledků výuky a je připraven samotným učitelem. Při jeho přípravě se uplatňují pouze zjednodušené postupy obvyklé pro tvorbu standardizovaného testu.

Test výstupů kognitivního (poznávacího) učení slouží k měření osvojování poznatků a intelektových dovedností. Test zkouší dovednosti řešit typické a netypické úlohy. *Test výstupů psychomotorického učení* slouží k měření osvojování psychomotorických dovedností. Test zkouší činnosti vyžadující nervosvalovou koordinaci, konkrétně pohybové a řečové dovednosti, manipulaci s předměty a přístroji, psaní a kreslení.

Test výsledků výuky slouží k bezprostřednímu zjištění výstupů specifického učení. Test zkouší výsledky výuky dosahované v jejím průběhu nebo závěru, kdy se ověřují osvojené vědomosti, dovednosti a způsobilosti řešit soubory úloh navazujících na konkrétní učivo.

Test studijních předpokladů slouží k předpovězení úspěšnosti studenta v budoucím studiu a není DT v pravém slova smyslu. Test je oborově zaměřen a zkouší základní znalosti, které jsou součástí úloh, ve kterých student musí projevit logické usuzování, analytické myšlení a dovednosti řešit problémy.

Test ověřující slouží ke zjištění úrovně osvojení studenta ve vymezeném oboru. Výkon studenta se vztahuje k souboru úloh. Test může být doplněn výkonovou normou, která stanoví minimální úroveň osvojení zkoušeného učiva. *Test rozlišující* slouží ke zjištění individuálních rozdílů testovaných podle měřené charakteristiky, což by měla zajistit vysoká citlivost testu. Výkon studenta se stanovuje vzhledem k výkonu souboru testovaných, nutně se tak musí jednat o standardizovaný test.

Vstupní test je zařazen na počátku výuky ke zjištění úrovně vědomostí, které jsou předpokladem pro úspěšné zvládnutí následné výuky. Výstupy testu slouží k úpravě plánu výuky a návrhu opatření do následující výuky. *Průběžný test* je zařazen v průběhu vlastní výuky a zprostředkovává zpětnou funkci o naplňování výukových cílů. Výstupy slouží k regulaci průběhu výuky. *Výstupní test* je zařazen na závěr výuky uzavřeného výukového celku. Slouží ke stanovení prospěchové klasifikace zkoušených.

Monotematický test zkouší obsah jediného tematického celku. *Polytematický test* zkouší obsahy několika tematických celků.

Objektivně skórovatelný test obsahuje úlohy, u kterých lze jednoznačně rozhodnout o jejich správném řešení anebo lze jednoznačně posoudit míru správnosti nebo úplnosti řešení. *Subjektivně skórovatelný test* obsahuje úlohy, u kterých neexistuje jednoznačné posouzení jejich správnosti.

Ve vytvářeném prototypu testu jsou navrženy položky se stupňujícími požadavky, ale současně je stanoven časový limit. Test je z hlediska měřené charakteristiky výkonů kombinovaným testem úrovně a rychlosti. Ze zadání je test nestandardizovaný. V testu se vyžaduje řešit úlohy zaměřené na fyzikální poznatky, proto patří z hlediska povahy činnosti testovaného mezi kognitivní testy.

Test zjišťuje výstupy specifického učení, slouží ke zjištění úrovně osvojení a je zařazen na závěr výuky jediného výukového celku, patří proto z hlediska míry specifčnosti učení mezi testy výsledků výuky, z hlediska interpretace výkonu mezi testy ověřující, z hlediska časového řazení mezi výstupní testy a z hlediska tematického rozsahu mezi monotematické testy.

Test obsahuje položky se širokou strukturovanou odpovědí, avšak je vypracován podrobný předpis pro hodnocení takových položek, proto je možné vytvořený test zařadit mezi kvazi-objektivně skórovatelné testy.

1.4 Výukové cíle

„Jasně formulované výukové cíle jsou nezbytným předpokladem pro upřesnění obsahu testu, která je hlavní součástí testové specifikace“ [1, p. 32]. Pomocí těchto cílů je vhodné vyjádřit žádoucí stav nejen na konci výchovně vzdělávacího působení, ale kdykoliv v jeho průběhu. Projekt výuky je akceptovatelný pouze tehdy, pokud není vymezen jen obsahově, ale zahrnuje též vymezení úrovně osvojení obsahu.

Cíle jsou uspořádány v hierarchické struktuře [12, p. 106]:

1. obecné cíle obsažené v profilu absolventa obsažené v kurikulárních dokumentech (RVP, ŠVP)
2. cíle ročníků adaptované vzhledem k podmínkám školy
3. cíle předmětů, podle nichž se stanovuje studijní plán
4. cíle tematických celků
5. cíle témat a vyučovacích hodin označované jako *specifické cíle*.

Správně stanovené cíle musí splňovat požadavky konzistentnosti, přiměřenosti, jednoznačnosti a kontrolovatelnosti. Při formulování specifických cílů používáme slovesa označovaná jako aktivní slovesa (resp. aktivní slovesné vazby).

Hierarchicky uspořádaný klasifikační model formálních výukových cílů nazýváme taxonomií výukových cílů [1, p. 34]. Bloomova taxonomie byla první taxonomií kognitivních cílů. Na jejím základě, avšak zjednodušená, byla vypracována Niemierkova taxonomie. Ta se týká jednak vzdělávání a dále výchovy v užším slova smyslu.

Niemierkova taxonomie

Oblast vzdělávání má celkem čtyři úrovně, přičemž k dosažení určitého cíle je nezbytné dosáhnout všech předchozích cílů z nižších kategorií [4, p. 22, 1, p. 40].

1. *Zapamatování poznatkům* je dosaženo, jestliže si student vybaví určitá fakta nebo zásady činnosti, která však nesmí mezi sebou zaměňovat. Váže se k elementárnímu porozumění poznatkům.
2. *Porozumění poznatkům* je dosaženo, jestliže student předloží zapamatované poznatky v jiné formě, než v jaké si je zapamatoval, dovede poznatky uspořádat nebo zestručnit.
3. *Použití vědomostí v typových situacích* je dosaženo, pokud student používá vědomostí k řešení situací, které již byly řešeny.
4. *Použití vědomostí v problémových situacích* je dosaženo, pokud student dovede použít vědomostí k řešení nových dosud neřešených situací.

Pomocí DT se měří plnění stanovených specifických cílů. Vzhledem k tomu, že výstupem testu pro studenta je pouze skóre (resp. přepočet na známku), informace o tomto plnění zcela zaniká. Plnění cílů bude proto jedním z východisek pro komplexní hodnocení studenta, kdy ke skóre bude doplněna slovní informace o splnění a nesplnění konkrétně stanovených specifických cílů.

Pro stanovený tematický celek učiva ověřovaný pomocí prototypu testu byly specifické cíle vytvořeny podle Niemierkovy taxonomie vzhledem k její jednoduchosti a výhodnosti pro tvorbu DT.

Magerova technika stanovení cílů

Magerova technika je precizní technika vymezení výukových cílů [1, p. 46]. Cíl má být vymezen

- požadovaným výkonem studenta
- podmínkami, které mají být uplatněny při realizaci tohoto výkonu

- normou výkonu

Požadovaný výkon je jedinou nezbytnou složkou vymezení cíle. Vyjadřuje formu pozorovatelné činnosti studenta dokladující naplnění vytyčeného cíle, přičemž slovesná vazba vyjadřující činnost musí být zcela jednoznačná a musí vyjadřovat pozorovatelnou činnost.

Podmínka výkonu upřesňuje povahu výkonu studenta. Pro kognitivní testy existují čtyři druhy podmínek:

- rozsah požadovaného výkonu zpřesňuje předmět požadované činnosti
- vymezení způsobu řešení stanovuje omezení na použitý způsob řešení
- vymezení pomůcek stanovuje, které pomůcky smí nebo musí při požadovaném výkonu použít
- vymezení prostředí vymezuje, v jakém prostředí má být požadovaný výkon proveden

Norma výkonu stanovuje nejnižší úroveň výkonu, kterou lze ještě považovat za naplnění cíle. Norma bývá stanovena:

- *počtem nebo procentem úloh* vymezené cílem, které musí být student schopen vyřešit
- *tolerovatelná nepřesnost* u výpočtů a grafických řešení
- *časovým limitem* omezujícím dobu nutnou k vyřešení úloh

1.5 Druhy testových úloh

Testové úlohy se rozdělují podle způsobu odpovědi studenta [1, p. 56, 8]. Primární dělení je na úlohy

- *otevřené*, ve kterých student samostatně vypracovává odpověď
- *uzavřené*, ve kterých student vybírá z nabízených odpovědí

Testové úlohy, které lze objektivně skórovat, se označují jako úlohy *objektivní*.

Úlohy otevřené se ještě dále dělí na úlohy se širokou odpovědí a úlohy se stručnou odpovědí. Na pozadí tohoto dělení rozlišujeme čtyři druhy otevřených úloh.

Úlohy s nestrukturovanou širokou odpovědí mají velice obecné zadání, student si stanovuje strukturu odpovědi sám. Tento druh úloh má proto nevýhodu, že student může zvolit nevhodnou strukturu anebo uveďte odpověď, kterou tvůrce testu nepředpokládal.

Z tohoto důvodu se tyto úlohy obtížně skórují. Příkladem jsou části úloh 4, 5, 7 a 12 prototypu testu.

Úlohy se strukturovanou širokou odpovědí mají specifikovanou požadovanou strukturu odpovědi, čímž se zamezí benevolenci v odpovědi studenta. Struktura odpovědi může být zadána buď vymezením v zadání nebo dána konvencí. Příkladem jsou úlohy 13 a 14 a části úloh 6 a 11 prototypu testu.

Produkční úlohy vyžadují stručnou odpověď, která je zúžena kontextem otázky. Odpověď je krátká slovní, číselná nebo symbolická. Příkladem jsou části úloh 4, 5, 6, 7 a 11 prototypu testu.

Doplňovací úlohy vyžadují stručnou odpověď, která spočívá v doplnění neúplného tvrzení. Příkladem je úloha 7 a 11 a část úlohy 7 prototypu testu.

Úlohy otevřené se ještě dále dělí na úlohy s jedinou správnou odpovědí a se dvěma a více správnými odpověďmi. Na pozadí tohoto dělení rozlišujeme čtyři druhy uzavřených úloh.

Dichotomické úlohy vyžadují posoudit správnost tvrzení. U těchto úloh je velká pravděpodobnost uhodnutí, proto jsem se rozhodl tento druh úloh nezařazovat do prototypu testu.

Výběrové úlohy vyžadují posoudit správnost několika nabízených tvrzení týkajících se kmenu úlohy. Příkladem jsou úlohy 1, 2, 8 a 9 prototypu testu.

Přiřazovací úlohy vyžadují přiřadit pojmy z jedné skupiny k pojmům ze druhé skupiny. Pojmy první skupiny nazýváme souborně *návěští*, pojmy druhé skupiny *doplňky*. Příkladem jsou úlohy 3 a 10 prototypu testu.

Uspořádací úlohy vyžadují utřídít skupinu pojmů podle stanoveného hlediska. Příkladem je část úlohy 12 prototypu testu.

Úlohy se širokou odpovědí lze objektivně skórovat jen pokud je k dispozici detailní předpis pro skórování odpovědi. Ostatní úlohy je možné skórovat objektivně, a to buď binárně nebo jinou složitější metodou.

2 TVORBA DIDAKTICKÉHO TESTU

Postup při tvorbě učitelského didaktického testu je rozčleněn zpravidla do tří etap [1, p. 53, 8]

- plánování
- konstrukce
- ověření a úprava

Plánování testu obsahuje dva kroky. Prvním je *vymezení účelu a rámcového obsahu* testu. Ve druhém kroku se vymezuje *testová specifikace*, která zahrnuje *upřesnění obsahu* testu, údaje o *počtu a druhu testových úloh*, *době testovacího času*, *formě testu*, *počtu variant*, *způsobu skórování*.

Konstrukce testu je vícekroková etapa. Začíná *návrhem úloh* reprezentující vybrané učivo. Obvykle se navrhuje více úloh, než kolik úloh má test obsahovat, neboť se některé úlohy v pozdějších krocích mohou projevit jako nevhodné. Ve druhém kroku probíhá *zkoumání obsahové validity* úloh skupinou kompetentních posuzovatelů. Ve třetím kroku je sestaven *prototyp testu* a jeho příslušenství. V případě ověřujících testů následuje čtvrtá fáze, tedy stanovení *výkonové normy*.

Ověření a úprava testu je tříkroková etapa. V první dojde k prvnímu *použití prototypu* testu na větším vzorku testovaných. Výsledek testu se v druhém kroku *analyzuje*, zjišťují se charakteristiky testu, provádí se analýza úloh. V posledním kroku se podle výsledků analýzy provede konečné *doladění testu*, aby mohl být běžně používán.

2.1 Plánování didaktického testu

Plánování DT začíná úvahou o účelu testu a vymezením jeho rámcového obsahu. Stanovení účelu testu znamená zařadit test podle kategorií uvedených v oddílu 1.3 a stanovení rámcového obsahu znamená vymezit obsah učiva, které má test pokrývat a najít souhrnný název pro testovanou učební látku.

Pro vytvářený test jsem vymezil účel a rámcový obsah v oddílu 4.1, testová specifikace je uvedena v oddílu 4.2.

2.1.1 Upřesnění obsahu testu

Aby DT byl validní, musí pokrývat reprezentativní část učiva. Proto vlastní konstrukci testu předchází upřesnění obsahu testu, k němuž je možné využít několika technik. Podle míry konkrétnosti a přesnosti [1, p. 65] můžeme rozlišit

1. techniku specifikační tabulky
2. techniku seznamu výukových cílů

Specifikační tabulka je dvourozměrná matice reprezentující test. Jedním rozměrem je obsahová část učiva, druhý je požadovaná úroveň osvojení učiva podle zvolené taxonomie výukových cílů. Při upřesnění obsahu testu pomocí specifikační tabulky se postupuje tak, že se jednotlivým prvkům matice přidělují čísla reprezentující počet úloh v závislosti na významu obsahové části učiva tak, aby součtem prvků byl předběžně stanovený celkový počet úloh. Dále je nutné při vyplňování tabulky sledovat rovnoměrné rozdělení počtu úloh podle úrovně osvojení učiva. Při stanovování významu dané obsahové části učiva je možné zohledňovat počet věnovaných VH, počtu stran v učebnici. Další možností je stanovení důležitosti učiva.

Seznam výukových cílů je tvořen operacionalizovanými cíli. V případě, že výukové cíle nejsou stanoveny před započítáním samotné výuky, stanoví je tvůrce testu sám. Tvorba cílů je dvoukroková, nejprve se do podoby seznamu operacionalizovaných cílů převede veškeré učivo, jehož míra osvojení má být testem měřena (skica). Ve druhém kroku posoudí skupina kompetentů význam jednotlivých cílů. Ubráním nebo doplněním je vytvořen konečný seznam výukových cílů, který splňuje podmínky:

1. obsahuje jen výukové cíle, k jejichž naplnění výuka směřovala,
2. žádný významný cíl není vynechán,
3. každý cíl má stanovený význam úměrný jeho výukovému významu.

Ke stanovení významu cíle se používá stejných hledisek jako při stanovování významu obsahové části učiva při tvorbě specifikační tabulky.

Obě zmíněné techniky se používají nezávisle. Přesto jsem se rozhodl je integrovat a využít při tvorbě prototypu testu obě techniky, a to způsobem postupného zpřesňování obsahu testu. V případě techniky specifikační tabulky jsem k přesnějšímu vymezení obsahu testu stanovoval i důležitost učiva.

Detailní seznam operacionalizovaných výukových cílů nebyl stanoven, musel jsem proto ve spolupráci s vyučujícím ze spolupracující školy tyto cíle stanovit, uvedeny jsou v příloze D na straně 104.

2.1.2 Další části testové specifikace

Počet úloh těsně souvisí s testovacím časem. Doba na prověřování osvojení učiva je hrubě omezena nejvýše 25 % celkového vyučovacího času [1, p. 79]. Při stanovení počtu úloh je třeba dbát na to, aby test splňoval požadavky na reliabilitu testu a aby test poskytoval dostatečně podrobné informace. Dále je třeba zohlednit věk a intelektovou úroveň testovaných a druh použitých úloh. Obecné pravidlo stanovuje, že se zvyšujícím se počtem úloh klesají relativní chyby testových skóre, a tedy roste spolehlivost testu [1, p. 79].

Forma a varianty testu se vztahují k praktičnosti testu. Před konstrukcí testu je třeba stanovit, zda testovaní budou řešit úlohy a zaznamenávat odpovědi přímo do zadání testu nebo budou mít k dispozici záznamový arch. Tuto skutečnost je třeba zohlednit v grafické úpravě zadání testu.

Úlohy se *skórují* podle druhu:

1. Široké úlohy se skórují tak, že zcela správné a kompletní odpovědi se přiřadí patřičný vyšší počet pomocných bodů (například 10) a za každou chybu nebo chybějící část odpovědi se určený počet pomocných bodů odečte [1, p. 81]. Tato hodnotící kritéria je vhodné stanovit předběžně.
2. Úlohy dichotomické se skórují tak, že za správnou odpověď se přidělí jeden bod jinak nula bodů [4, p. 29].
3. Úlohy výběrové s vícenásobnou odpovědí se skórují tak, že za každou označenou správnou a neoznačenou nesprávnou odpověď se přidělí jeden pomocný bod a celkový počet bodů se následně vydělí počtem nabídnutých odpovědí [4, p. 32].
4. Úlohy přiřazovací se skórují tak, že za každé zaznamenané správné přiřazení se přidělí jeden pomocný bod a celkový počet bodů se následně vydělí počtem nabídnutých přiřazení [4, p. 38].
5. Úlohy uspořádací se skórují tak, že za každou chybu oproti správnému uspořádání se podle velikosti odchylky udělí příslušný počet pomocných bodů a tyto body se sečtou. Současně je vytvořena norma nesprávného uspořádání, která je součtem odchylek při obráceném uspořádání odpovědí. Výsledné skóre úlohy je potom

podíl součtu pomocných bodů ku součtu největších odchylek odečtený od jedničky [4, p. 39].

Pro skórování testů jsou uváděna obecná doporučení [1, p. 81, 9]:

1. Pro skórování úloh testu má být užíváno bodů. Celkové skóre testovaného se získá sečtením skóru z jednotlivých úloh testu a toto skóre se následně převede pomocí stanoveného klíče na klasifikační stupeň.
2. U testů sestavených z většího počtu objektivních úloh není vhodné přiřazovat různé váhy jednotlivým úlohám, ale naopak se doporučuje použití binárního skórování.
3. Pokud je test sestaven částečně ze širokých a částečně z objektivních úloh, doporučuje se test rozdělit podle druhu úloh a tyto části skórovat zvlášť.

Mnou vytvářený test se skládá z většího počtu úloh několika různých druhů. Na místo rozdělení testu na jednodruhové části a jejich odděleného skórování jsem se uchýlil k přiřazování vah jednotlivým úlohám podle jejich druhu a náročnosti. Výpočetní úlohy jsou složitější na řešení a vyžadují u testovaných studentů dosáhnout cílů vyšších kategorií, proto jsem se rozhodl těmto úlohám přiřazovat vyšší váhu při skórování.

Celkově lze zhodnotit, že uvedená pravidla skórování není možné používat při komplexním vyhodnocování, kdy potřebujeme rozhodnout o naplnění nebo nenaplnění cíle, neboť výsledné skóre ani počet pomocných bodů v sobě nenesou žádanou informaci o naplňování cílů. Proto je potřeba vytvořit jiný systém hodnocení, který by byl založený na ověřování naplnění cílů. Východiska pro vytvoření takového systému spolu s jeho popisem jsou uvedeny v kapitole 3.

2.2 Konstrukce testu

Výběr položek testu

Výběr druhu úlohy závisí především na cíli, který má test plnit, dále na obsahu učiva a materiálních a technických podmínkách [4, p. 25]. Velmi zhruba se stanovuje, že otevřené široké úlohy jsou vhodnější k měření komplexních dovedností, zatímco objektivní úlohy jsou vhodnější k měření jednodušších dílčích dovedností [1, p. 62, 9]. V tabulce T I.1 je zaznamenána vhodnost použití jednotlivých druhů testových úloh.

Úlohy		úroveň osvojení				
		A	B	C	D	
Subjektivní	široké	nestrukturované	0	0	1	2
		strukturované	0	1	2	2
	produkční	2	2	2	0	
	doplňovací	2	1	1	0	
Objektivní	dichotomické	2	1	1	0	
	výběrové	1	2	2	0	
	přiřazovací	2	2	1	0	
	uspořádací	1	2	0	0	

T 1.1 Míra vhodnosti druhů testových úloh vzhledem k testované úrovni osvojení učiva podle Niemierkovy taxonomie. Míra vhodnosti rozvrstvena: 0 – nevhodný, 1 – vhodný, 2 – velmi vhodný. Úroveň osvojení je rozvrstvena: A – zapamatování poznatků, B – porozumění poznatkům, C – používání vědomostí v typových situacích, D – používání vědomostí v problémových situacích. Převzato a upraveno z [1, p. 65].

Při tvorbě úloh jsem následoval obecná doporučení [1, pp. 86-90, 4, pp. 40-41]:

1. Úlohami testovat důležité učivo, které bylo předmětem výuky.
2. Formulovat úlohu jasně stručně, ale úplně. Zadání nemá obsahovat dlouhá slovní spojení, přesto by mělo být jasné a jednoznačné.
3. Navrhovat navzájem nezávislé úlohy.
4. Vyhnout se nezamýšlené nápovědě.
5. Vyhnout se neadekvátním zdrojům obtížnosti.
6. Používat jednoduché skórování.
7. Navrhovat dostatečný počet úloh.
8. Věnovat pozornost grafické stránce testu.
9. Úlohy nechat posoudit kompetentními osobami.

Dále jsem používal zobecněná doporučení. Toto zobecnění bylo umožněno překryvem významu doporučení pro jednotlivé druhy úloh a díky charakteru doporučení:

1. Nevyžadovat znalost přesného znění uvedeného při výuce nebo v učebním textu.
2. Úlohy rozmístit tak, aby žádná nebyla rozdělena na dvě tiskové strany.
3. Produkční úlohy jsou vhodnější než doplňovací úlohy.
4. Pro objektivní úlohy uvést v instrukci podstatu úlohy a pokyn, jak zaznamenávat odpovědi.

Pro tvorbu jednotlivých druhů úloh jsem používal doporučení uvedená v [1, pp. 90-105, 4, pp. 25-40, 13, 8].

PRAKTICKÁ ČÁST

3 KOMPLEXNÍ VYHODNOCOVÁNÍ DIDAKTICKÉHO TESTU

Byly vytvořeny následující zásady, jak připravit test, který by ověřoval naplňování vytyčených specifických výukových cílů, výstupní znalosti a kompetence a výsledky vzdělávání (komplexně hodnotil studentovy znalosti a dovednosti). Přirozenou klíčovou kategorií jsou specifické cíle, které je nutné velmi precizně stanovit, a to především z hlediska úplnosti.

Teorie hodnocení testů uvedená v kapitole 2.1.2 na straně 32 dává jisté možnosti, jak hodnotit široké i objektivní úlohy. Hodnocení jsou v zásadě založena na počítání správných odpovědí studenta, takže příčiny nesprávného zodpovězení zůstávají skryty. Pro ilustraci uvádím hodnocení několika vybraných úloh, které byly zahrnuty ve vytvářeném testu.

Úloha s vícenásobnou odpovědí

Zadání: Světlo *volně* šířící se *ve vakuu* je vlnění

- | | |
|------------|-------------|
| a. podélné | d. příčné |
| b. tlumené | e. postupné |
| c. stojaté | |

Aby student odpověděl správně, musí podle fyzikální teorie označit [14, 15] tvrzení d, e. Student v takovém případě získává dohromady pět pomocných bodů z pěti, dva pomocné body za označení dvou správných tvrzení a tři pomocné body za neoznačení tří nesprávných tvrzení. Pokud je úloha do celkového skóre testu hodnocena jedním bodem, student získá jeden bod.

Studenti ale vždy správně neodpovídají. Předpokládejme, že označí tvrzení a, b, d. V tomto případě student získává dohromady dva pomocné body, jeden za označení jednoho správného tvrzení a jeden za neoznačení jednoho nesprávného tvrzení. Student do celkového skóre získá 0,4 bodu.

Pokud analyzujeme odpovědi, zjistíme, že student zřejmě nezaznamenal skutečnost, že světlo se šíří ve vakuu, a tedy beze ztrát, nebo význam této skutečnosti nechápe. Dále student uvedl protimluv, že světlo je současně vlnění podélné a příčné. Lze se pouze domnívat, že student správnou odpověď nevěděl, a proto označil raději obě tvrzení.

Uvedené hodnocení neposkytuje žádnou zpětnou vazbu pro studenta, ale ani pro vyučujícího. Student se adresně nedozví, odkud pramení jeho nedostatky a vyučující nerozpozná, kterým partiím učiva by se měl ve výuce více věnovat.

nadřazené		přímé	podřazené	
2	1		1	2
vysloví definici světla	určí vlastnosti světla ve vakuu	vyjmenuje vlastnosti světla	rozliší postupné a stojaté vlnění	vysloví, co je postupné a stojaté vlnění
			rozliší příčné a podélné vlnění	vysloví, co je příčné a podélné vlnění
		rozliší vakuum a reálné prostředí z hlediska šíření světla	vysloví, jak se světlo šíří reálným prostředím	

T II.1 Strukturovaná soustava cílů úlohy s vícenásobnou odpovědí.

K hodnocení úlohy můžeme přistupovat jinak, a to pomocí strukturované soustavy cílů přiřazených k testové úloze uvedené v tabulce T II.1. Ve struktuře jsou stanoveny cíle, které jsou přímo vázány na tvrzení úlohy, tedy, že **student**:

- *vyjmenuje vlastnosti světla*
- *rozliší vakuum a reálné prostředí z hlediska šíření světla*

a dále cíle, o jejichž naplnění můžeme nepřímou usuzovat podle studentových odpovědí. Tyto nepřímé cíle jsou jednak podřazené a nadřazené. Pokud student označí tvrzení d, e a neoznačí a, c, lze předpokládat naplnění podřazených cílů, tedy, že **student**:

- *rozliší postupné a stojaté vlnění*
- *rozliší příčné a podélné vlnění*

a dále, že **student**:

- *vysloví, co je postupné a stojaté vlnění*
- *vysloví, co je příčné a podélné vlnění*

ale stejně tak i naplnění nadřazených cílů, tedy, že **student** určí vlastnosti světla ve vakuu, a dále, že **student** vysloví definici světla.

Pokud student neoznačí tvrzení b, lze předpokládat naplnění podřazeného cíle, tedy, že student vysloví, jak se světlo šíří reálným prostředím.

Nyní se nemůže stát, aby student zvýšil své skóre při označení protimluvných tvrzení a na druhou stranu lze podle nenaplněných cílů rozeznat, odkud pochází studentova neznalost.

Přiřazovací úloha

Zadání: *Přiřad'te* druh záření nebo barvu světla ke správné vlnové délce. V jednom případě není možné provést přiřazení.

- | | |
|------------------------|--------------------|
| a. červené světlo | 1. 1 μm |
| b. fialové světlo | 2. 200 nm |
| c. infračervené záření | 3. 400 nm |
| d. ultrafialové záření | 4. 580 nm |
| | 5. 800 nm |

Úloha je zodpovězena správně pokud student provede přiřazení a-5, b-3, c-1, d-2, takže dohromady čtyři body za čtyři správná přiřazení. Pokud je úloha do celkového skóre testu hodnocena jedním bodem, student získá jeden bod.

Hodnocení opět neposkytuje zpětnou vazbu, proto byla vytvořena strukturovaná soustava cílů uvedená v tabulce T II.2 s cíli přímo vázanými na tvrzení úlohy, tedy, že **student:**

- *přiřadí mezním* vlnovým délkám světla **barvy** a obráceně
- *porovná* vlnovou délku **infračerveného** záření vzhledem k **červenému** světlu a **ultrafialového** záření vzhledem k **fialovému** světlu

a dále šesti podřazenými a jedním nadřazeným nepřímým cílem. Struktura cílů umožňuje rozlišit, mezi přiřazením mezních vlnových délek a vlnových délek infračerveného a ultrafialového záření a dále, zda student provádí přiřazení mezních vlnových délek na základě jejich zapamatování, nebo na základě zapamatování mezních frekvencí a jejich

následného převodu na vlnové délky. S tímto převodem souvisí dovednosti, které student musí projevit a struktura cílů je tudíž musí obsáhnout.

nadřaz.	přímé	podřazené			
		1	2	3	4
vysloví definici světla	přiradí mezním vlnovým délkám světla barvy a obráceně	převeďte frekvenci vlnění na vlnovou délku a opačně	provádí číselné operace s reálnými čísly	vyčíslí mezní frekvence světla	vysloví, co je vlnová délka a zaznamená definiční vztah
	přiradí mezním vlnovým délkám světla barvy a obráceně	vyčíslí mezní vlnové délky světla			
	porovná vlnovou délku infračerveného záření vzhledem k červenému světlu a ultrafialového záření vzhledem k fialovému světlu	vysloví, co je vlnová délka a zaznamená definiční vztah			

T II.2 Strukturovaná soustava cílů přiřazovací úlohy.

Soustavu strukturovaných cílů lze přiřadit i k testové úloze se širokou odpovědí, čímž se stírá rozdíl mezi hodnocením subjektivních a objektivních úloh.

Úloha se širokou odpovědí

Zadání: Část A. *Napište* definici indexu lomu

$$n =$$

kde

Část B. *Napište* vlastními slovy, co vyjadřuje index lomu?

.....(4 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

nadřazené			přímé	podřazené	
3	2	1		1	
vyjádří důsledky závislosti indexu lomu na frekvenci a vlnové délce					
vysloví, na čem závisí rychlost světla při šíření optickým prostředím					
vyjádří úměru, která platí mezi indexem lomu prostředí a ...					
popíše závislost indexu lomu na vlnové délce					
zaznamenaná definiční vztah pro index lomu					
vyčíslí hodnotu indexu lomu vzduchu a skla					
vyjádří úměru, která platí mezi úhlem lomu v daném prostředí a indexem lomu					
vysloví, na čem závisí rychlost světla v optickém prostředí					
vysloví, na čem závisí rychlost světla v optickém prostředí					

T II.3 Strukturovaná soustava cílů úlohy se širokou odpovědí.

Pro hodnocení úlohy byla vytvořena strukturovaná soustava cílů uvedená v tabulce T II.3, ve které jsou stanoveny cíle přímo vázané na tvrzení úlohy, tedy, že **student**:

- vysloví definici **indexu lomu**
- vyjádří úměru, která platí mezi **úhlem lomu** v daném prostředí a **indexem lomu** prostředí

- *vysloví*, na čem závisí hodnota **indexu lomu** při šíření optickým prostředím (frekvence vlnění)
- *popíše* závislost indexu lomu na **frekvenci** a **vlnové délce**
- *zaznamená* definiční vztah pro **index lomu**
- *vyčíslí* hodnotu indexu lomu **vzduchu** a **skla**

a dále jedním podřazenými a třemi nadřazenými nepřímými cíli. Struktura byla upravována podle odpovědí studentů, aby postihla, pokud možno, všechny jimi formulované odpovědi.

Porovnáme-li běžně používané hodnocení a hodnocení pomocí strukturovaných cílů, musíme bohužel konstatovat, že druhá z metod není časově úsporná, na druhou stranu přináší hodnotné poznatky o studentových znalostech a dovednostech bez nutnosti hluboce zkoumat samotné odpovědi studenta, neboť struktura cílů je vytvořena jako součást testu.

Projdeme-li struktury cílů všech úloh, všimneme si, že cíl – **student vysloví** definici světla je stanoven v úloze s vícenásobnou odpovědí i v přiřazovací úloze. Tato skutečnost umožňuje srovnávat, zda student projevuje stejné znalosti a dovednosti napříč úlohami, lze se tedy domnívat, že způsob hodnocení pomocí struktury cílů dokáže velmi přesně rozpoznat hloubku studentových znalostí a dovedností. Ve struktuře cílů přiřazovací úlohy je cíl student *provádí* číselné operace s reálnými čísly. Bude-li tento cíl obsažen ve více úlohách testu, lze studenta hodnotit i z hlediska matematické gramotnosti.

Test samozřejmě obsahuje i početní úlohy, k nimž se většinou váží cíle – **student řeší** úlohu na výpočet... Pokud je tento cíl obsažen ve více testových úlohách, může nám jeho sledování poskytnout podklady pro vyhodnocení normy výkonu stanovené Magerovou technikou.

3.1 Klasifikace cílů

Předpokladem komplexního vyhodnocování je vytvoření vrstevné struktury cílů. Tomu by mělo dopomoci členění cílů do kategorií, které jsem rozdělil podle

- významu na klíčové, hlavní a základní cíle
- kontrolovatelnosti na měřitelné a vázané
- klasifikačního modelu Niemierykovy taxonomie cílů

Cíle podle významu

Učební látku, kterou má test ověřovat, je nezbytné zmapovat, pokud možno, úplným souborem výukových cílů. Vzhledem k tomu, že test nemůže ověřovat tento úplný soubor, je vhodné cílům úplného souboru přiřadit priority a test následně připravit v souladu s cíli s nejvyššími prioritami, které je vhodné upravit cílům RVP a ŠVP. Proto pro uchopení transformace cílů RVP, ŠVP a výukových cílů do cílů testu byly vytvořeny kategorie *klíčových cílů* testu, *hlavních cílů* úloh a *dílčích cílů*.

Klíčové cíle testu jsou stanoveny na základě cílů RVP a ŠVP a jsou nejkompexnějšími cíli.

Vytvářejí tedy pojítko k cílům RVP a ŠVP a jejich počet je úměrný počtu cílů RVP a ŠVP, jež test ověřuje. Každé testové úloze je podle její šíře přiřazen jeden nebo více klíčových cílů a tyto cíle se mohou opakovat v několika různých testových úlohách.

Uvedené úlohy ověřují znalosti mezních vlnových délek, které je možné díky znalosti veličiny indexu lomu přepočítat pro různá prostředí – přispívají tak k ověření naplnění cíle RVP – **student charakterizuje světlo** jeho vlnovou délkou a rychlostí v **různých** prostředích. Tento cíl se do testu transformuje do klíčového cíle – **student určí** vlastnosti různých **druhů** optického vlnění ve vakuu a v optickém prostředí, neboť uvažovaný test ověřuje i znalosti jiných druhů optického vlnění než jen světlo, ale zaměřuje se z velké části na vlastnosti optického vlnění ve vakuu.

Hlavní cíle se váží k úlohám testu a jsou vybírány z cílů tematických celků a témat. Jsou to tedy cíle s relativně nižší komplexností, avšak podstatné pro pochopení učebních obsahů a uchopení navazující látky. Jejich počet závisí na počtu cílů tematických celků a témat. Bylo stanoveno, že tyto cíle budou podle Niemiřkovy taxonomie nejnižší úrovně porozumění. K těmto cílům je tak možné přiřadit cíle nižších úrovní, jejichž naplnění je nezbytné k tomu, aby bylo možné tyto vyšší cíle považovat za splněné.

Uvedeným úlohám jsou na základě obsahů učiva, jejichž naplnění ověřují, stanoveny hlavní cíle – **student**:

1. *Určí* vlastnosti **světla** v **reálném** prostředí
2. *Seřadí* jednotlivé **barvy** světla a **druhy** elektromagnetického vlnění podle **frekvence** a **vlnové délky**
3. *Vysvětlí* význam **indexu lomu**

Dílčí cíle jsou tvořeny soubory výukových cílů s nejnižší komplexností, které jsou ověřovány jednotlivými testovými úlohami. Základní cíle je dále možné vrstvit např. pomocí Niemiery taxonomie výukových cílů. Počet dílčích cílů není nijak omezen a závisí pouze na charakteru a složitosti testové úlohy.

Mezi dílčími cíli napříč úlohami testu se mohou některé cíle opakovat. Tato skutečnost přináší možnosti hloubkové analýzy naplňování cílů. Je tak možné sledovat, zda je daný cíl naplňován ve všech úlohách nebo je možné naopak vyhledávat protimluvy v naplňování těchto cílů.

Hlavní cíle testu jsou nadřazené hlavním cílům úloh a splnění hlavního cíle testu je vázáno na splnění všech hlavních cílů úloh, které jsou k tomuto hlavnímu cíli testu vázány. Hlavní cíle úloh jsou následně nadřazeny souborům základních cílů a splnění hlavního cíle úlohy je vázáno na splnění souboru základních cílů vázících se k úloze, což lze považovat za splnění hlavního cíle testu vzhledem k dané testové úloze. Každé úloze testu je potom přiřazen soubor **cílů úlohy** tvořený souborem základních cílů vázících se k úloze spolu s jejich nadřazeným hlavním cílem úlohy. Soubor všech cílů úloh testu spolu s hlavními cíli testu tvoří **cíle testu**. Toto členění je ilustrováno pomocí tabulky T II.4.

Cíle testu	klíčové cíle	
	cíle úloh	hlavní cíle základní cíle

T II.4 Úrovně cílů podle hlediska důležitosti.

Pokud je test vytvořen v souladu s klíčovými cíli a k testovým úlohám jsou vybrány vhodné hlavní cíle, je pravděpodobné, že bude splňovat požadavky kladené RVP, ŠVP a že bude v souladu s výukovými cíli.

Cíle podle kontrolovatelnosti

Cíle je dále vhodné rozdělit podle způsobu, jak jsou jejich naplnění ověřitelná. V úvodním příkladu byly děleny podle vázanosti na tvrzení úlohy na přímé a nepřímé. Toto dělení bylo adaptováno a příslušné cíle přejmenovány na měřitelné a vázané.

Cíle testu		
vázané cíle	měřitelné cíle	vázané cíle
následné		výchozí

T II.5 Úrovně cílů podle hlediska kontrolovatelnosti.

Měřitelné cíle jsou takové cíle, u kterých je možné přímým vyhodnocením odpovědi studenta stanovit, zda byly nebo nebyly naplněny.

Každé testové úloze je podle jejího charakteru přiřazen jeden nebo více měřitelných cílů, avšak, aby bylo naplněno doporučení nezávislosti úloh [1, p. 88], neměly by se měřitelné cíle opakovat napříč úlohami testu, takže každý měřitelný cíl by měl být jedinečný.

Vázané cíle jsou cíle bez možnosti přímého ověření jejich naplnění. Nicméně k jejich ověřování může probíhat alespoň nepřímo, a to analýzou měřitelných cílů a jiných již ověřených vázaných cílů.

Vázané cíle jsou dále rozděleny na výchozí a následné. Naplnění výchozího vázaného cíle je podmínkou naplnění cíle měřitelného. Předpokládáme, že aby student vyřešil úlohu správně, musí mít jisté znalosti a dovednosti, které jsou vázány na výchozí vázané cíle. Naplnění následného vázaného cíle je naopak podmíněno naplněním cíle nebo cílů měřitelných. Předpokladem k naplnění následného vázaného cíle je správné vyřešení úlohy.

Cíle podle klasifikačního modelu Niemierkovy taxonomie cílů

Rozvrstvení cílů je stěžejním procesem pro komplexní vyhodnocování testů. Podle Niemierkovy taxonomie, která byla popsána v kapitole 1.4 na straně 26, jsou cíle členěny podle složitosti do čtyř kategorií. Je tedy pravděpodobné, že testové cíle budou muset být členěny i v rámci těchto kategorií, stále ale bude platit, že k dosažení určitého cíle je nezbytné dosáhnout všech cílů předchozích.

3.2 Komplexní vyhodnocení testu

Jak by mělo probíhat komplexní vyhodnocení testu již bylo diskutováno v závěru úvodního příkladu. Komplexní vyhodnocení studentových znalostí a dovedností začíná vyhodnocením testové úlohy a pokračuje celkovým vyhodnocením testu.

3.2.1 Vyhodnocení testové úlohy

U testové úlohy je nejprve nutné porovnat studentovy odpovědi s měřitelnými cíli. K vyhodnocení objektivních úloh je vhodné vyhotovit klíč, podle kterého je možné podle zvolených tvrzení jednoduše přiřadit splněné měřitelné cíle.

Vyhodnocování výchozích vázaných cílů je jednodušší, neboť naplnění složitějšího cíle automaticky znamená naplnění předchozích cílů. Při naplnění každého měřitelného cíle proto můžeme za naplněné považovat všechny vázané předchozí cíle.

Vyhodnocování následných vázaných cílů je komplikovanější, je třeba si uvědomit, že naplnění měřitelného cíle je vzhledem k následnému vázanému cíli podmínkou nutnou, avšak nikoliv dostačující. Ke splnění složitějšího cíle je nutné, aby byly naplněny všechny k němu vázané jednodušší cíle, což může být jeden nebo více měřitelný cíl a další následné vázané cíle.

Analýzou testové úlohy budeme rozumět, pokud vyhodnotíme všechny měřitelné, výchozí a následné vázané cíle. Cíle testové úlohy je nyní možné rozdělit na naplněné a nenaplněné. Hlavní cíl úlohy je naplněn, pokud jsou naplněny všechny k němu vázané předchozí cíle, což fakticky znamená naplnění všech měřitelných cílů úlohy. V případě naplnění hlavního cíle, lze úlohu považovat za vyřešenou a tuto skutečnost lze současně považovat za naplnění klíčového cíle vzhledem k testové úloze. Výstupem pro studenta jsou soubory naplněných a nenaplněných cílových položek.

3.2.2 Celkové vyhodnocení testu

Při celkovém vyhodnocení testu je nutné:

1. sledovat, jak jsou naplňovány klíčové cíle vzhledem ke všem úlohám testu,
2. sledovat nesoulady u cílů, které jsou současně stanoveny ve více úlohách.

Naplňování klíčových cílů

V případě, že provádíme vyhodnocení klíčových cílů, sledujeme jejich naplňování vzhledem ke všem úlohám testu. Podle počtu úloh, vzhledem kterým je daný klíčový cíl naplněn, lze stanovit koeficient jeho naplnění. Pokud došlo k současnému naplnění klíčového cíle vzhledem ke všem přiřazeným úlohám, budeme tento cíl považovat za naplněný.

Testovým úlohám mohou být přiřazovány váhy, poukazující na jejich důležitost, této skutečnosti proto musíme přizpůsobit výpočet koeficientu naplnění. Výstupem pro studenta soubor stěžejních cílů spolu s jejich koeficienty naplnění.

Hledání nesouladů u opakovaných cílů

Protože se cíle napříč úlohami testu mohou opakovat, je možné vyhledávat, zda nedochází k jejich současnému naplnění a nenaplnění napříč úlohami testu v podobě nesouladů v řešeních úloh, při nichž je nutné projevít stejnou znalost v různých situacích. Sledování těchto cílů může být hodnotné z hlediska získání informací, jak student odpovídá při změně kontextu zadání úlohy a případně může posloužit k odhalení studentovy neznalosti.

Výstupem pro vyučujícího je soubor protimluvně naplňovaných cílových položek, jejichž vyhodnocení je nutné následně provést.

4 PLÁNOVÁNÍ TESTU

4.1 Účel a rámcový obsah testu

Testem jsem chtěl *zjistit výsledky výuky*. Po domluvě s učitelem spolupracující školy měl test ověřovat zvládnutí tematického celku *Světlo jako vlnění*.

Test byl vypracován pro:

1. Obor (kód a název): 26-41-M/01 Elektrotechnika
2. Vzdělávací oblast: Přírodovědné vzdělávání
3. Předmět: Fyzika
4. 2. ročník
5. Učivo podle RVP [10]: Optika.
6. Tematické celky podle ŠVP [16]: Světlo jako vlnění.

Praktická realizace DT byla provedena na Střední průmyslové škole elektrotechnické (dále jen SPŠE). Studium je na této spolupracující škole organizováno jako denní čtyřleté, jehož součástí jsou i praktická cvičení. Výuka probíhá v učebnách pro maximálně 34 studentů. Na této SPŠE se vyučuje podle:

- RVP: 26-41-M/01 Elektrotechnika
- ŠVP: Elektrotechnika, verze 3
- Stupeň poskytovaného vzdělání: střední vzdělání s maturitní zkouškou
- Délka a forma vzdělávání: denní čtyřleté studium

Na spolupracující škole se při výuce fyziky používá následující literatura:

Výchozí učebnice: LEPIL, Oldřich, Milan BEDNAŘÍK a Radmila HÝBLOVÁ. *Fyzika pro střední školy II.* 4., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2012. Učebnice pro střední školy (Prometheus). ISBN 978-80-7196-429-2.

Doplňková literatura:

- **ŠTOLL, Ivan.** *Fyzika pro gymnázia.* 4. vyd. Praha: Prometheus, 2010. ISBN 978-80-7196-386-8.

- **SOUKUP, Václav a Josef VESELÝ.** *Maturitní otázky – fyzika.* Praha: Fragment, 2007. Maturitní otázky. ISBN 978-80-253-0501-0.
- **SVOBODA, Emanuel a kol.** *Přehled středoškolské fyziky.* 5., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2014.
- **MIKULČÁK, Jiří.** *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy.* 4. vyd. Praha: Prometheus, 2007.

4.2 Testová specifikace

Výuka tematického celku Světlo jako vlnění odpovídá na spolupracující škole 7 VH fyziky pokryté ve 4 týdnech 2. pololetí. Učební plán školy je uveden v příloze C v tabulce T III.2 a tematický plán je uveden v příloze C v tabulce T III.3.

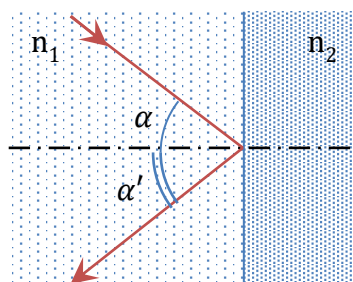
Upřesnění obsahu testu bylo vytvořeno na základě provedené analýzy učiva, která posloužila ke stanovení priorit učiva a kompletaci specifikační tabulky. Specifikační tabulka byla následně využita k vytvoření soupisu specifických výukových cílů.

Po dohodě s vyučujícím spolupracující školy měla být doba testovacího času omezena délkou jedné vyučovací hodiny (45 min) a měly být vytvořeny dvě ekvivalentní varianty testu čítající deset až patnáct testových úloh.

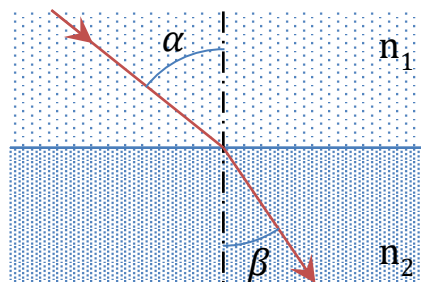
4.2.1 Analýza učiva

Analýza učiva je výpis faktů a vztahů z obsahu učiva a je východiskem přípravy učitele na vyučování. Provedená didaktická analýza se týká učiva vlnové optiky [17, pp. 188-209].

1. Světlo: vlnová délka $\lambda \in (400 \text{ nm}, 800 \text{ nm})$, $f \in (7,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}, 3,8 \cdot 10^{14} \text{ Hz})$, barvy: fialová – modrá – zelená – žlutá – oranžová – červená, rychlost $c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$. Převod $f = \frac{c}{\lambda}$. Prostředí homogenní; izotropní, anizotropní. Vlnoplocha, paprsky.
2. Zákon přímočarého šíření, princip nezávislosti chodu paprsků. Zákon odrazu $\alpha = \alpha'$. Index lomu $n = \frac{c}{v}$, (Snellův) zákon lomu $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$, prostředí opticky hustší, řidší. Lom od kolmice, ke kolmici, mezní úhel $\alpha = \arcsin \frac{1}{n_1}$, úplný odraz → optická vlákna.



a odraz



b lom

O II.1 Nákres k zákonu odrazu a lomu.

3. Disperze, optický hranol – lámavý úhel. $f = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{v}{\lambda}$, $n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$. Bílé světlo, barevné spektrum.
4. Polarizace. Světlo polarizované, nepolarizované; lineárně, kruhově polarizované. Polarizace odrazem – (Brewsterův) polarizační úhel $\alpha = \arctan \frac{n_2}{n_1}$, dvojlomem – paprsek řádný, mimořádný. Polarizátor, analyzátor.
5. Interference, koherence – fázový rozdíl. Optická dráha $l = ns$, dráhový rozdíl $\Delta l = n\Delta s$. Interferenční maximum $\Delta l = 2k\frac{\lambda}{2}$, minimum $\Delta l = (2k - 1)\frac{\lambda}{2}$. Interferenční obrazec, interference na tenké vrstvě, klíně, Newtonových sklech.
6. Interference na mřížce, $b \sin \alpha_k = k\lambda$.

4.2.2 Návaznosti

Učivo ověřované testem bezprostředně navazovalo na tematický celek *Mechanické kmitání a vlnění* a konkrétně na učivo akustiky. Byl proto předpoklad, že studenti již ovládají Huygensův princip, jehož znalost a užití se v prototypu testu ověřovala. Požadována byla i znalost sinusoidy, která reprezentuje časovou závislost okamžité výchylky harmonického vlnění.

Dále byly požadovány znalosti předpon soustavy SI a jejich převodů do vědeckého zápisu hodnoty veličin a dovednosti převádět velikosti rychlosti mezi různými fyzikálními jednotkami.

Cíle návazného učiva byly rozčleněny podle Niemierkovy taxonomie výukových cílů.

1. Poznávací cíle
 - a. Zapamatování

Student:

- *vyjmenuje* předpony soustavy SI
- *vysloví*, co je postupné a stojaté vlnění
- *vysloví*, co je příčné a podélné vlnění
- *vysloví*, co je vlnová délka a zapíše definiční vztah
- *vysloví*, co je vlnoplocha a paprsek
- *vysloví* Huygensův princip
- *rozliší* postupné a stojaté vlnění
- *rozliší* příčné a podélné vlnění

b. Porozumění

Student:

- *vyjádří* číslo zaznamenané ve vědecké notaci ($\cdot 10^n$) za použití předpon soustavy SI
- *převede* jednotky rychlosti z m s^{-1} na km h^{-1} a obráceně

c. Použití

Student:

- *provádí* číselné operace s reálnými čísly
- *provádí* algebraické úpravy výrazů

2. Operační cíle

Student znázorní průběh sinusoidy

4.2.3 Upřesnění obsahu pomocí specifikační tabulky

Specifikační tabulka pro vytvářený prototyp testu byla vytvořena tak, že rozměr obsahové části učiva byl sestaven podle ŠVP [16, 18] a rozměr úrovně osvojení učiva byl rozvrstven podle Niemierkovy taxonomie výukových cílů uvedena je v tabulce T II.7. Důležitost byla stanovena v součinnosti s vyučujícím spolupracující školy.

Důležitost			
nadhraniční			podhraniční
vysoká	normální	nízká	
3	2	1	0

T II.6 Přiřazení důležitostí vytyčeným cílům.

Obsah	počet hodin		stran v učebnici		důlež.	počet úloh					
						podle úrovně osvojení				celkem	
						A	B	C	D		
Světelné frekvence	1,0	15 %	2,5	15 %	1	0	0	1	0	1	7 %
Rychlost světla	0,5	8 %	1,0	6 %	2	1	0	0	0	1	7 %
Šíření světla	1,0	15 %	2,0	12 %	3	1	3	1	0	5	36 %
Odraz a lom	1,5	23 %	4,5	26 %	3	0	1	2	2	5	36 %
Interference	1,0	15 %	2,0	12 %	1	0	1	0	0	1	7 %
Polarizace záření	0,5	8 %	1,5	9 %	1	0	0	0	0	0	0 %
Spektrum záření	0,5	8 %	2,0	12 %	1	0	1	0	0	1	7 %
Rentgenové záření	0,5	8 %	1,5	9 %	0	0	0	0	0	0	0 %
Celkem	7	100 %	17	100 %		2	6	4	2	14	100 %

T II.7 Specifikační tabulka pro vytvářený prototyp testu. Úroveň osvojení je rozvrstvena podle Niemiřkovy taxonomie výukových cílů: A - zapamatování poznatků, B - porozumění poznatkům, C - používání vědomostí v typových situacích, D - používání vědomostí a dovedností v problémových situacích.

4.2.4 Upřesnění obsahu pomocí seznamu výukových cílů

Skica výukových cílů pro stanovený obor prototypu testu byla vypracována na základě analýzy učebnice [17] a vlastních zkušeností s uvedeným učivem a je uvedena v příloze D na straně 104. Cíle jsou členěny podle Niemiřkovy taxonomie výukových cílů.

Skica výukových cílů byla doplněna a diskutována s učitelem spolupracující školy a na základě této diskuse byly jednotlivým cílům přiřazeny priority na škále 0 až 3 podle tabulky T II.6. Pokud byla cíli přiřazena podhraniční důležitost, naplňování cíle nebylo na spolupracující škole sledováno. Během výuky bylo sledováno naplňování cílů s normální a vysokou důležitostí, kterému odpovídalo základní učivo. Naplňování cílů s nízkou důležitostí nebylo na spolupracující škole sledováno důsledně a učivo týkající se těchto cílů bylo považováno za rozšiřující.

Po dohodě s učitelem spolupracující školy bylo do testu nutně zahrnuto ověření naplnění cílů s vysokou důležitostí a až v případě, že jsou všechny tyto cíle ověřeny alespoň jednou úlohou, mohlo se zařadit i sledování cílů s normální důležitostí.

Skica výukových cílů byla upravena do konečné podoby výukových cílů členěné opět podle Niemiřkovy taxonomie výukových cílů.

1. Poznávací cíle
 - a. Zapamatování

Student:

- *definuje a vyčíslí rychlost světla* ve vakuu
- *definuje vlnovou délku* a její jednotky
- *vyjmenuje mezní frekvence* a vlnové délky světla
- **mezním** frekvencím a vlnovým délkám *přiřadí barvy* a obráceně
- *seřadí podle vzrůstající nebo klesající frekvence* a vlnové délky **čtyři barev** spektra
- *určí vlastnosti* volně šířícího se vlnění **ve vakuu** a **v optickém prostředí**
- *definuje homogenní; izotropní, anizotropní* optické prostředí
- *definuje vlnoplochu* a **paprsek**
- *pojmenuje a vysloví Huygensův princip*
- *definuje index lomu* a *zaznamená jeho definiční vzorec*
- *popíše závislost indexu lomu* na **vlnové délce** a **frekvenci**
- *podle hodnot indexů lomu prostředí* na rozhraní *určí opticky hustší a řidší prostředí* a obráceně
- *vysloví zákon odrazu* a *zaznamená vzorcem*
- *vysloví zákon lomu* a *zaznamená vzorcem*
- *definuje rovinu dopadu*
- *ve schématu zobrazujícím lom světla* na rozhraní *přiřadí lom od kolmice, lom ke kolmici* a **úplný odraz**
- *popíše interferenci světla*
- *definuje optickou dráhu* a **dráhový rozdíl** a *zaznamená vzorcem*

b. Porozumění

Student:

- *převeďte vlnovou délku* na **frekvenci kmitání** a opačně
- *vysvětlí* svými slovy **Huygensův princip**
- *vysvětlí* svými slovy **význam indexu lomu**
- *ze zákona lomu $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$ vyjádří veličinu n_1, n_2, α, β*
- *objasní vznik barevného spektra* při **lomu** bílého světla **hranolem**
- *v nákresu rozhodne, které prostředí je opticky hustší a řidší*
- *vysvětlí* vznik **interferenčního maxima** a **minima**
- *objasní* vznik **barevného spektra** při **ohybu** bílého světla **na mřížce**

c. Použití

Student:

- řeší úlohy přechodu paprsků mezi různými prostředími s použitím **zákona lomu** $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$
- s použitím **zákona lomu** *odvodí vztah* pro mezní úhel $\alpha = \arcsin \frac{1}{n_1}$
- *odvodí*, jak se **odchylují** různé **barvy spektra** při **lomu** hranolem
- *odvodí*, jak se **odchylují** různé **barvy spektra** při **ohybu** na mřížce

2. Operační cíle

Student:

- *sestrojí paprsky* v **homogenním** prostředí, *načrtne vlnoplochu* a **paprsky** v **izotropním** a **anizotropním** prostředí
- *zkonstruuje vlnoplochy* k **paprskům** a obráceně
- *znázorní zákon odrazu* a **zákon lomu**
- *zkonstruuje průběh* šíření rovinné a kulové vlny **pomocí** Huygensova principu

5 KONSTRUKCE TESTU

5.1 Celková koncepce testu

Ve spolupráci s vyučujícím na spolupracující škole byla vypracována koncepce, podle které prototyp testu obsahoval současně úlohy otevřené a uzavřené, tady podle míry objektivity skórování subjektivně a objektivně skórovatelné. Nemožnost objektivně skórovat celý test jsem musel vyřešit vytvořením skórovacích klíčů pro subjektivně skórovatelné úlohy. Velký důraz byl kladen na úlohy, ve kterých studenti tvoří vlastní odpovědi, a úlohy, ve kterých musejí vytvářet vlastní nákresy.

Prototyp testu byl rozvržen na čtyři strany otištěné dvoustraně na dva listy, přičemž tyto dva listy byly svázané dohromady. Test byl vysázen tak, aby úlohy nebyly rozděleny mezi dva listy ani strany a aby text úloh, pokud to situace umožňovala, nebyl rozdělen mezi dva odstavce.

Do prototypu testu byly zařazeny úlohy se dvěma a více částmi. Tyto úlohy vznikly kombinací dvou a více úloh návrhu, přičemž byly voleny tak, aby první úloha, resp. úloha zařazená v testu dříve, ověřovala nižší cílovou úroveň než úloha druhá, resp. úloha zařazená později.

Studenti směli psát odpovědi přímo do zadání úloh, resp. pod zadání. U přiřazovacích úloh byla studentům nechána možnost, jakým způsobem ztvární samotné přiřazení, skupiny pojmů byly odděleny volným místem a stejně tak bylo místo u písmen a čísel odpovědí. Doprovodný text byl doplněn komentářem. U produkčních a situačních úloh, kde studenti museli tvořit vlastní odpovědi nebo vytvářet vlastní nákresy, bylo vynecháno prázdné místo, tak aby mohli odpovědi a nákresy vypracovat bezprostředně za zadání. Úlohy, které vyžadovaly provádět výpočty byly záměrně zařazeny na závěr testu, kde byla možnost pod zadáním vynechat prázdnou stránku, studenti takto měli dostatek místa pro zápis výpočtu a vytvoření nákresu k úloze. Studenti byli na tuto skutečnost upozorněni v doprovodném textu uvedeném v úvodu.

S učitelem spolupracující školy bylo dohodnuto, že budou vytvořeny dvě verze testu. Variace úloh pro verze testu byly v případě úloh produkčních vytvořeny záměnou nebo obměnou zadání úlohy, v případě úloh výběrových obměnou nebo změnou pořadí distraktorů a v případě úloh přiřazovacích vytvořeny záměnou jedné skupiny pojmů nebo záměnou pořadí v jedné nebo obou skupinách pojmů.

Aby byly obě verze testu složitostí vyrovnané, docházelo i k variacím východiska úloh, tedy např. pokud byly v testu zařazeny dvě úlohy na lom světla, tak se první z úloh v první verzi testu týkala „lomu od kolmice“ a v opačné verzi byla ekvivalentní úloha na „lom ke kolmici“, druhá úloha první verze se naopak týkala „lomu ke kolmici“ a v opačné verzi byla ekvivalentní úloha na „lom od kolmice.“

Prototyp testu obsahoval u každé výběrové otázky distraktor „ani jedna nabízená odpověď není správně“, proto na tuto skutečnost byli studenti upozorněni v doprovodném textu testu. Studenty je vhodné na použití této volby upozornit hned na začátku testu umístěním úlohy, u které není možné vybrat jako správnou odpověď žádný z nabízených distraktorů [1, p. 99], proto byla pro umístění této volby vybrána hned první úloha.

Pod každou úlohou byl vytištěn počet bodů, které může student správným vyřešením úlohy získat. Před tímto údajem bylo vynecháno místo, do kterého jsem při opravě testu zaznamenával získaný počet bodů studenta. Body za jednotlivé úlohy byly přepsány do tabulky celkových výsledků vytištěné v hlavičce na první straně testu. Pod touto tabulkou bylo vynecháno místo na zaznamenání celkového počtu získaných bodů a na zápis známky.

5.2 Promítnutí klíčových a hlavních cílů do testu

Bylo stanoveno následujících pět klíčových cílů:

Student:

- A. *Určí* vlastnosti různých **druhů** optického vlnění ve vakuu a v optickém prostředí
- B. *Popíše šíření* optického vlnění
- C. *Popíše šíření* optického vlnění při dopadu na **rozhraní** dvou optických prostředí a na **mřížku**
- D. *Popíše* projevy **interference** optického vlnění

- E. Řeší příklady na **průchod** vlnění mezi různými optickými prostředími za použití **zákonů šíření**

V tabulce T II.8 je naznačen rozpis klíčových cílů do úloh prototypu testu.

Cíl	Úloha													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	x	x	x			x	x		x					
B				x	x									
C							x	x	x	x		x		
D											x			
E													x	x

T II.8 Klíčové cíle prototypu testu.

Dále bylo stanoveno následujících 12 hlavních cílů vázaných k úlohám testu:

Student:

1. *Vyčíslí rychlost světla ve vakuu pomocí různých jednotek* soustavy SI
2. *Určí vlastnosti světla v reálném prostředí*
3. *Seřadí jednotlivé barvy světla a druhy* elektromagnetického vlnění podle **frekvence a vlnové délky**
4. *Používá paprsky a vlnoplochy ke znázornění šíření* optického vlnění
5. *Použije Huygensův princip* ke zjištění **prostorového rozložení** optického vlnění v prostředí
6. *Vysvětlí význam indexu lomu*
7. (není stanoven)
8. *Popíše šíření* optického vlnění při dopadu na **rozhraní** dvou prostředí
9. (není stanoven)
10. *Znázorní šíření* optického vlnění za různých podmínek dopadu na **rozhraní** dvou optických prostředí
11. *Popíše projevy interference* optického vlnění
12. *Objasní vznik barevného spektra* při **lomu** bílého světla **hranolem** a při ohybu bílého světla na **mřížce**
13. *Řeší úlohy na přechod* paprsků mezi různými prostředími s použitím **zákona lomu**
14. *Řeší úlohy na počítání s mezním úhlem* pro různá prostředí

5.3 Gradace úloh testu

Test byl vystaven podle pravidla „od jednoduššího ke složitějšímu a komplikovanějšímu.“ Úvod tvořily úlohy 1 až 3 ověřující *základní* znalosti a dovednosti. Následovala část tvořená úlohami 4 až 6 ověřující znalosti *nomenklatury* a k tomu *vážíci se způsoby převodu fyzikálních jevů do technického vyjádření* (vlnoplocha, paprsek, index lomu). V části týkající se *elektromagnetického záření* došlo k částečnému prověření znalostí předcházejícího učiva mechanického vlnění a akustiky. Zadání úloh vyplývalo ze srovnávání elektromagnetického záření a zvuku (vlastnosti při šíření a průchodu rovinnými rozhraními). Část týkající se *šíření* tvořily úlohy na ověření správné představy o šíření světla různými prostředími (odraz, lom, extrémní případy). Poslední část tvořená úlohami 13 a 14 obsahuje *početní úlohy* ověřující praktické dovednosti a schopnosti interpretovat zadání a výsledky.

5.4 Doprovodný text testu

V úvodu testu byl uveden doprovodný text: „Test podepište. Pozorně čtete zadání. Výběr správné odpovědi zaznamenejte zakroužkováním písmena příslušejícího k odpovědi. Přiřazení proveďte grafickým propojením zvolených nabídek. V každé úloze může být správně více než jedna odpověď.“

„K číselným výpočtům můžete používat kalkulačky, použití jakýchkoliv jiných pomůcek (mobilních telefonů) **je zakázáno!**“

„Na vypracování testu máte k dispozici čas *40 minut*.“

5.5 Úlohy prototypu testu

Do prototypu testu byly na základě diskuse a posouzení vyučujícím spolupracující školy z připravených návrhů úloh uvedených v příloze E na straně 108 vybrány dále uvedené úlohy. V následujícím textu je uvedeno znění testových úloh, konečná úprava testu je uvedena v příloze F na straně 122.

U jednotlivých úloh je uvedeno zdůvodnění, proč byla úloha vybrána do prototypu testu, plné znění zadání varianty A testu a jak byla vytvořena verze pro variantu B testu. Uvedeno je řešení úloh za použití odborné literatury [14, 15], přičemž zápis je upraven podle konvencí uvedených v [17]. Dále jsou uvedeny odpovědi, které jsou považovány za správné, včetně jejich skórování a komplexního hodnocení.

Úloha 1. Rychlost světla ve vakuu

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového – **student určí** vlastnosti různých **druhů** optického vlnění ve vakuu a v optickém prostředí, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – **student vyčíslí rychlost světla ve vakuu** pomocí **různých jednotek** soustavy SI a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.9.

Cíle	měřitelné	výchozí
	0	1
Student:		
1	vyčíslí rychlost světla ve vakuu	
2		vyjmenuje předpony μ (mikro), m (mili), k (kilo) a M (mega) soustavy SI a přiřadí jejich číselné hodnoty
3	převede rychlost světla ve vakuu z $m \cdot s^{-1}$ na $km \cdot h^{-1}$ a obráceně	provádí číselné operace s reálnými čísly
4		vyjádří číslo zaznamenané ve vědecké notaci ($\cdot 10^n$) za použití předpon soustavy SI
5		převede jednotky rychlosti z $m \cdot s^{-1}$ na $km \cdot h^{-1}$ a obráceně

T II.9 Strukturovaná soustava cílů první úlohy.

Zadání: Rychlost světla ve vakuu je

- a. $299\,792\,458 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
- b. $299,792\,458 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
- c. $299\,792\,458 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- d. $2,997\,924\,58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- e. Ani jedna odpověď není správná.

Variace: Verze pro variantu B testu byla vytvořena záměnou distraktorů:

- a. $1,079\,252\,946 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- b. $299\,792\,458 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
- c. $3,315\,7 \cdot 10^2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
- d. $314\,159\,265 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Řešení: Rychlost světla ve vakuu je určena hodnotou

$$c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 299\,792,458 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Pomocí převodních vztahů $1 \text{ m} = 0,001 \text{ km}$ a $1 \text{ s} = \frac{1}{3600} \text{ h}$ dosadíme

$$c = 299\,792\,458 \cdot 0,001 \text{ km} \cdot 3600 \text{ h}^{-1} = 3,6 \cdot 299\,792\,458 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$c = 1\,079\,252\,946 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}.$$

Distraktory: Byly vytvořeny záměnou jednotky rychlosti ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) nebo záměnou exponentu x u číselné hodnoty rychlosti světla ve vakuu ($299\,792\,458 \cdot 10^x$, $1\,079\,252\,946 \cdot 10^x$). Další distraktory byly vytvořeny použitím číselné hodnoty rychlosti zvuku ($331,57 \cdot 10^x$) a číselné hodnoty Ludolfova čísla ($3,141\,592\,65 \cdot 10^x$) s použitím vhodného exponentu x a vhodné jednotky rychlosti.

Správně: Ani jedna odpověď není správně (e).

Bodování: 2 body za označení správné nabídky.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je méně než 1 min.

Úloha 2. Světlo jako vlnění

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – **student určí** vlastnosti různých **druhů** optického vlnění ve vakuu a v optickém prostředí, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – student **určí** vlastnosti **světla** v **reálném** prostředí a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.10.

Zadání: Světlo *volně* šířící se *ve vakuu* je vlnění

- a. podélné
- b. tlumené
- c. stojaté
- d. příčné
- e. postupné
- f. Ani jedna odpověď není správná.

Variace: Verze pro variantu B testu byla vytvořena změnou pořadí distraktorů:

- a. podélné
- b. postupné
- c. příčné
- d. stojaté
- e. tlumené

Řešení: Světlo se šíří stejně jako postupné elektromagnetické vlnění, v každém bodě toto vlnění kmitá kolmo na směr šíření. Světlo je proto *postupné příčné vlnění*.

Distraktory: Byly vytvořeny použitím vlastností zvukového vlnění (podélné), charakteristikou při šíření světla v látkovém prostředí (tlumené) a charakteristikou složeného vlnění z proti sobě postupujících vlnění (stojaté).

Cíle	následné		měřitelné	výchozí	
	2	1	0	1	2
Student:					
1	vysloví definici světla	určí vlastnosti světla ve vakuu	vyjmenuje vlastnosti světla	rozliší postupné a stojaté vlnění	vysloví definici postupného a stojatého vlnění
2				rozliší příčné a podélné vlnění	vysloví definici podélného a příčného vlnění
3			rozliší vakuum a reálné prostředí z hlediska šíření světla	vysloví, jak se světlo šíří reálným prostředím	

T II.10 Strukturovaná soustava cílů druhé úlohy.

Správně: Příčné, postupné. Varianta A (d, e), varianta B (b, c).

Bodování: 2 body za označení správných nabídek.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je méně než 1 min.

Úloha 3. Spektrum elektromagnetického vlnění

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – **student určí** vlastnosti různých **druhů** optického vlnění ve vakuu a v optickém prostředí, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – **student seřadí** jednotlivé **barvy** světla a **druhy** elektromagnetického vlnění podle **frekvence** a **vlnové délky** a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.11.

Zadání: *Přiřad'te* druh záření nebo barvu světla ke správné vlnové délce. V jednom případě není možné provést přiřazení.

- | | |
|------------------------|--------------------|
| e. červené světlo | 1. 1 μm |
| f. fialové světlo | 2. 200 nm |
| g. infračervené záření | 3. 400 nm |
| h. ultrafialové záření | 4. 580 nm |
| | 5. 800 nm |

Variace: Verze pro variantu B testu byla vytvořena záměnou skupiny vlnových délek za frekvence a změnou pořadí ve skupině barev:

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| a. 100 THz | 1. červené světlo |
| b. $1,0 \cdot 10^{15}$ Hz | 2. infračervené záření |
| c. $3,8 \cdot 10^{14}$ Hz | 3. fialové světlo |
| d. $5,2 \cdot 10^{14}$ Hz | 4. ultrafialové záření |
| e. $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz | |

Řešení: Barvám přísluší vlnové délky: fialová (390 – 430) nm; modrá (430 – 490) nm; zelená (490 – 560) nm; žlutá (560 – 600) nm; oranžová (600 – 640) nm; červená (640 – 790) nm. Dále pak lze zobecnit, že ultrafialové záření má vlnovou délku < 390 nm a infračervené záření > 790 nm.

Dosazením definice frekvence $f = \frac{1}{\tau}$ do definice rychlosti $c = \frac{\lambda}{\tau} = \lambda f$ odvodíme vztah pro přepočítání frekvence na vlnovou délku

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Ze zadaných frekvencí $1,0 \cdot 10^{14}$ Hz, $3,8 \cdot 10^{14}$ Hz, $5,2 \cdot 10^{14}$ Hz, $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz a $1 \cdot 10^{15}$ Hz dopočítáme vlnové délky

$$\begin{aligned}(\lambda_1; \lambda_2; \lambda_3; \lambda_4; \lambda_5) &= \left(\frac{3,0 \cdot 10^8}{1,0 \cdot 10^{14}}; \frac{3,0 \cdot 10^8}{3,8 \cdot 10^{14}}; \frac{3,0 \cdot 10^8}{5,2 \cdot 10^{14}}; \frac{3,0 \cdot 10^8}{7,5 \cdot 10^{14}}; \frac{3,0 \cdot 10^8}{1,0 \cdot 10^{15}} \right) \text{ m} \\ &\approx (3,0 \cdot 10^{-6}; 7,9 \cdot 10^{-7}; 5,7 \cdot 10^{-7}; 4,0 \cdot 10^{-7}; 3,0 \cdot 10^{-7}) \text{ m} \\ &\approx (3 \text{ }\mu\text{m}; 400 \text{ nm}; 570 \text{ nm}; 400 \text{ nm}; 300 \text{ nm}).\end{aligned}$$

Správně: infračervené záření – 1 μm , 100 THz; červené světlo – 800 nm, $3,8 \cdot 10^{14}$ Hz; fialové světlo – 400 nm, $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz; ultrafialové záření – 200 nm, $1,0 \cdot 10^{15}$ Hz, varianta A (a-5, b-3, c-1, d-2), varianta B (a-2, b-4, c-1, e-3).

Bodování: 1 bod za každé správné přiřazení, dohromady 4 body.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je přibližně 2 min.

Cíle	násl.	měřitelné	výchozí			
	1	0	1	2	3	4
Student:						
1	vysloví definici světla	přihradí mezním frekvencím a vlnovým délkám světla barvy a obráceně	převede frekvenci vlnění na vlnovou délku a opačně	provádí číselné operace s reálnými čísly	vyčíslí mezní frekvence a vlnové délky světla	vysloví, co je vlnová délka a zaznamená definiční vztah
2		přihradí mezním frekvencím a vlnovým délkám světla barvy a obráceně	vyčíslí mezní frekvence a vlnové délky světla			
3		porovná frekvenci a vlnovou délku infračerveného záření vzhledem k červenému světlu a ultrafialového záření vzhledem k fialovému světlu	vysloví, co je vlnová délka a zaznamená definiční vztah			

T II.11 Strukturovaná soustava cílů třetí úlohy.

Úloha 4. Paprsek a vlnoplocha

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění hlavního cíle – **student popíše šíření** optického vlnění, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – **student používá paprsky a vlnoplochy** ke **znázornění šíření** optického vlnění a pro ověření dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.12.

Zadání: Část A. *Napište* vlastními slovy definici paprsku.

.....(3 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

Část B. *Nakreslete* paprsky šířící se z bodového zdroje světla a do nákresu *znázorněte* vztah mezi paprskem a vlnoplochou.

Cíle	následné		měřitelné	výchozí
	2	1	0	1
Student:				
1			vysloví definici vlnoplochy	
2			vysloví definici paprsku	
3		vyjádří význam paprsků a vlnoplochy	sestrojí paprsky šířící se z bodového zdroje v homogenním prostředí	popíše, co je bodový zdroj světla
4	zkonstruuje vlnoplochy k paprskům a obráceně		sestrojí paprsky šířící se podél rovinné vlny v homogenním prostředí	popíše, co je rovinná vlnoplocha
5			znázorní vztah mezi paprskem a vlnoplochou	vyjádří vztah mezi paprskem a vlnoplochou
6			vyjádří vztah mezi paprskem a vlnoplochou	
7			vyjádří význam paprsků a vlnoplochy	

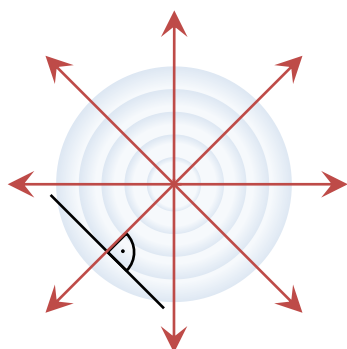
T II.12 Strukturovaná soustava cílů čtvrté úlohy.

Variace: Část A. Verze pro variantu B testu byla vytvořena záměnou definice paprsku za definici vlnoplochy: *Napište vlastními slovy definici vlnoplochy.*

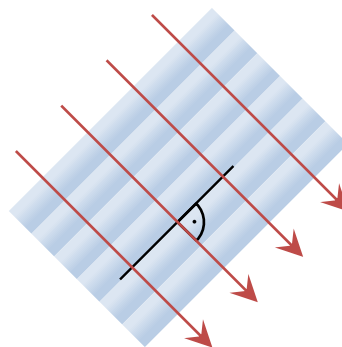
Část B. Verze pro variantu B testu byla vytvořena záměnou zobrazení paprsků šířících se z bodového zdroje za šíření rovinné vlny: *Nakreslete rovinnou vlnoplochu a do nákresu znázorněte vztah mezi vlnoplochou a paprskem.*

(půl stránky pro vytvoření studentova nákresu)

Řešení: *Vlnoplocha* postupného vlnění je množina bodů, které kmitají se stejnou fází. *Paprsek* je přímka kolmá k vlnoplochám a jeho směr je určen směrem šíření světla. Paprsky šířící se z bodového zdroje s vyznačením vztahu mezi paprskem a vlnoplochou jsou znázorněny na obrázku O II.2a, šíření rovinné vlny se zobrazením vztahu mezi vlnoplochou a paprskem je znázorněno na obrázku O II.2b.



a. kulová vlnoplocha



b. rovinná vlnoplocha

O II.2 Vlnoplochy s vyznačením paprsků.

Bodování: Varianta A: 1 bod za vyjádření myšlenky, že paprsek udává směr šíření, 1 bod za vhodný náčrt šíření vlny z bodového zdroje pomocí vlnoploch a paprsků. Varianta B: 1 bod za vyjádření myšlenky, že vlnoplocha je množina bodů kmitajících se stejnou fází, 1 bod za vhodný náčrt šíření rovinné vlny pomocí vlnoploch a paprsků. 1 bod za vyjádření myšlenky, že paprsky jsou kolmé k vlnoplochám.

Doba: Čas potřebný na řešení úlohy je méně než 3 min.

Úloha 5. Huygensův princip

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – **student popíše šíření** optického vlnění, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – **student použije Huygensův princip** ke zjištění **prostorového rozložení** optického vlnění v prostředí a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.13.

Zadání: Část A. *Napište* vlastními slovy Huygensův princip.

.....(4 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

Část B. Pomocí Huygensova principu *znázorněte* šíření rovinné vlny.

(půl stránky pro vytvoření studentova náčrtu)

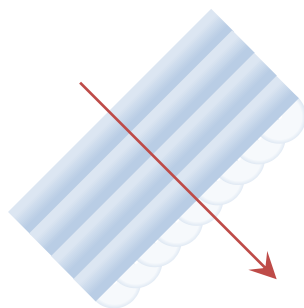
Variace: Část A. Verze pro variantu B testu byla shodná.

Část B. Verze pro variantu B testu byla vytvořena záměnou znázornění šíření rovinné vlny za šíření kulové vlny.

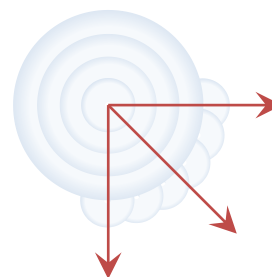
Cíle	následné	měřitelné
	2	1
		0
Student:		
1		vysloví Huygensův princip
2		popíše, jak a k čemu se používá Huygensův princip
3		popíše důsledky Huygensova principu z hlediska vzniku vlnění (není třeba místo vzniku)
4	zkonstruuje vlnoplochy k paprskům a obráceně	vyjádří význam paprsků a vlnoplochy
		zkonstruuje průběh šíření rovinné vlny pomocí Huygensova principu
		zkonstruuje průběh šíření kulové vlny pomocí Huygensova principu

T II.13 Strukturovaná soustava cílů páté úlohy.

Řešení: *Huygensův princip* objasňuje způsob, jakým se šíří postupné vlnění. Vyjadřuje, že každý bod vlnoplochy, do něhož v určitém okamžiku vlnění dospěje, lze pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se z něj šíří v elementárních vlnoplochách. Vlnoplocha v následujícím časovém okamžiku je vnější obálka elementárních vlnoploch.



a. rovinná vlna



b. kulová vlna

O II.3 Šíření vlny pomocí Huygensova principu.

Bodování: 1 bod za vyjádření myšlenky, k čemu Huygensův princip slouží a 1 bod za vyjádření myšlenky, jak se konstruuje vlnoplocha šířícího se vlnění. Varianta A: 1 bod za vhodný náčrtek šíření kulové vlny. Varianta B: 1 bod za vhodný náčrtek šíření rovinné vlny. 1 bod za interpretaci myšlenky konstrukce vlnoplochy šířícího se vlnění.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je přibližně 3 min.

Úloha 6. Index lomu

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – **student určí** vlastnosti různých **druhů** optického vlnění ve vakuu a v optickém prostředí, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – **student vysvětlí** význam **indexu lomu** a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.14.

Zadání: Část A. *Napište* definici indexu lomu

$$n =$$

kde

Část B. *Napište* vlastními slovy, co vyjadřuje index lomu?

.....(4 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

Variace: Verze pro variantu B testu byla shodná.

Řešení: *Index lomu* je definován vztahem

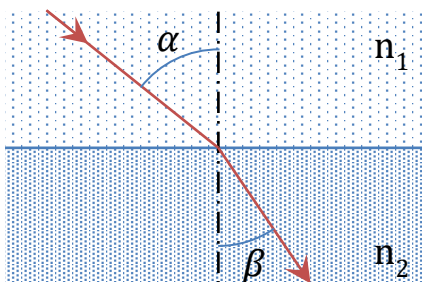
$$n = \frac{c}{v}, \quad (\text{II.1})$$

kde c je rychlost šíření světla ve vakuu a v je rychlost šíření světla v látkovém prostředí. Index lomu stanovuje, kolikrát bude snížena rychlost světla oproti rychlosti ve vakuu (vzduchu), vyjadřuje tedy *optickou hustotou prostředí*.

Dále index lomu může být vyjádřen ze zákona lomu

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \quad (\text{II.2})$$

kde n_1 je index lomu prostředí ve kterém dopadá pod úhlem α na rozhraní a n_2 je index lomu prostředí, do kterého paprsek vstupuje s úhlem lomu β .



O II.4 Nákres k zákonu lomu.

	následné		měřitelné		výchozí
	3	2	1	0	1
Student:					
vyjádří důsledky závislosti indexu lomu na frekvenci a vlnové délce				vysloví definici indexu lomu	vysloví, na čem závisí rychlost světla v optickém prostředí
	vysloví, na čem závisí rychlost světla při šíření optickým prostředím (frekvence vlnění)			vyjádří úměru, která platí mezi indexem lomu a vlnové délkou	
	vyjádří úměru, která platí mezi indexem lomu a vlnové délkou			popíše závislost indexu lomu na frekvenci a vlnové délkou	
				zaznamená definiční vztah pro index lomu skla	

T II.14 Strukturovaná soustava cílů šesté úlohy.

Při průchodu světla z vakua (vzduchu) do látkového prostředí platí pro index lomu $n_1 = 1$ a pro index lomu prostředí

$$n_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (\text{II.3})$$

Úpravou rovnice **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** získáme vztah pro úhel lomu

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\sin \alpha}{n_2}\right),$$

takže index lomu stanovuje, jak se zmenší úhel lomu paprsku v daném prostředí.

Bodování: 1 bod za doplnění platného definičního vztahu pro index lomu, 1 bod za doplňující popisky, 1 bod za vyjádření myšlenky, že index lomu udává rychlost šíření světla v látkovém prostředí, případně 1 bod za vyjádření myšlenky, že index lomu udává velikost úhlu lomu.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je méně než 3 min.

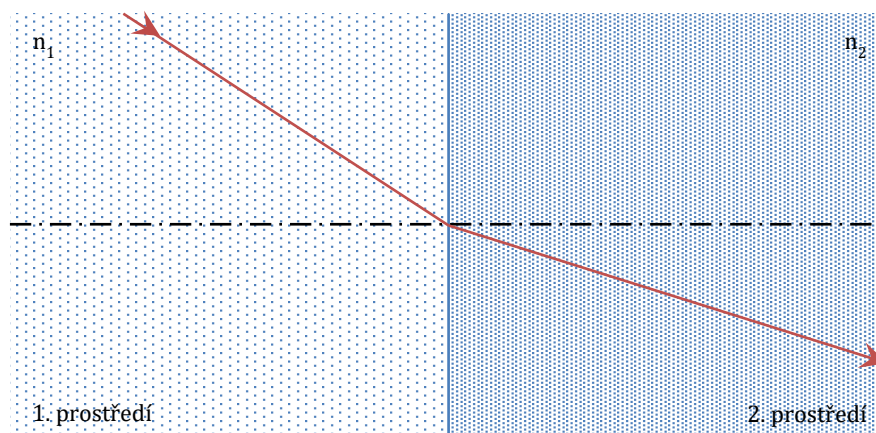
Úloha 7. Ověřovací otázky

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčových cílů – **student:**

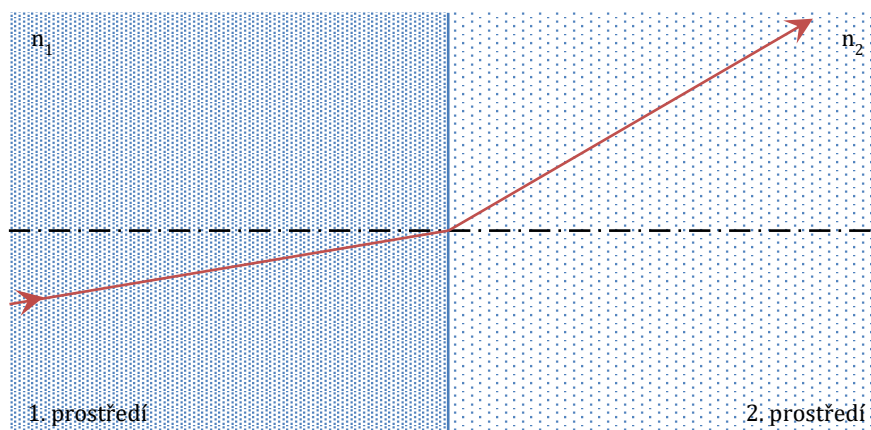
- *určí* vlastnosti různých **druhů** optického vlnění ve vakuu a v optickém prostředí
- *popíše šíření* optického vlnění při dopadu na **rozhraní** dvou optických prostředí a na **mřížku**

a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.15.

Zadání: Část A. Do obrázku *vyznačte* úhel dopadu a úhel lomu.



a varianta A



b varianta B

O II.5 Nákresy k úloze 7 prototypu testu.

Část B. Jedná se o lom od kolmice nebo ke kolmici?

Část C. Jaká nerovnost platí mezi hodnotami indexu lomu prostředí? n_1 n_2

Část D. Závisí úhel lomu na frekvenci?

Část E. Čím je určena rovina dopadu? ...(2 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

Variace: Část A. Verze pro variantu B testu byla vytvořena záměnou pořadí optických prostředí při průchodu paprsku:

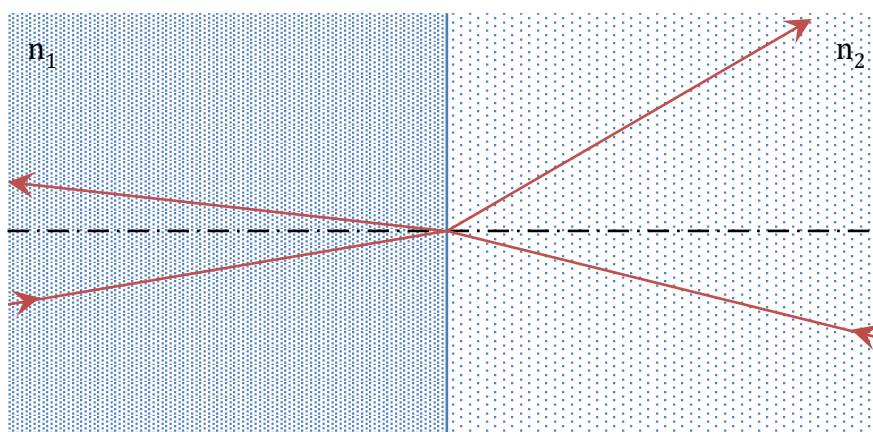
Část B až D. Verze pro variantu B testu byla vytvořena odlišným situačním východiskem popsaným v části A.

Část E. Verze pro variantu B testu byla shodná.

Řešení: Úhel dopadu α je sevřen dopadajícím paprskem a kolmicí k rozhraní, θ a lomený paprsek svírá úhel lomu β , jak je patrné z obrázku O II.6.

následné		měřitelné		výchozí	
2	1	0	1	2	
Student:					
znázorní zákon lomu nákresem					
vysloví zákon lomu					
<p>označí ve schématu zobrazující m lom optického vlnění lom ke kolmici</p>	<p>označí ve schématu zobrazujícím lom optického vlnění lom od kolmice</p>	<p>vyznačí v nákresu lomu paprsků na rozhraní optických prostředí úhel lomu</p>	<p>vyznačí v nákresu lomu paprsků na rozhraní optických prostředí úhel lomu</p>	<p>vyznačí v nákresu lomu paprsků na rozhraní optických prostředí úhel dopadu</p>	
<p>vysloví definici indexu lomu</p> <p>určí, jaká nerovnost platí mezi hodnotami indexu lomu pro prostředí opticky hustší a opticky řidší</p>	<p>vysloví definici roviny dopadu</p>				
<p>rozhodne, zda úhel lomu závisí na frekvenci</p>	<p>podle toho, zda dochází k lomu ke kolmici nebo k lomu od kolmice, určí řazení prostředí podle optické hustoty</p>				
<p>vyjádří úměru, která platí mezi úhlem lomu v daném prostředí a indexem lomu prostředí</p>					
<p>vysloví, na čem závisí hodnota indexu lomu při šíření</p>					
				<p>vysloví, co je úhel dopadu a co je úhel lomu</p>	

T II.15 Strukturovaná soustava cílů sedmé úlohy.



O II.6 Nákres lomu ke kolmici a lomu od kolmice.

Při přechodu světla z opticky řidšího prostředí do prostředí opticky hustšího dochází k lomu ke kolmici, při přechodu z opticky hustšího prostředí do prostředí opticky řidšího se paprsek láme od kolmice.

Jestliže má opticky hustší prostředí index lomu n_1 a opticky řidší prostředí index lomu n_2 , potom mezi hodnotami indexu lomu platí nerovnost

$$n_1 > n_2.$$

Hodnota indexu lomu závisí na frekvenci vlnění, proto na frekvenci vlnění závisí i úhel lomu. Důsledkem je vznik hranolového spektra.

Rovina dopadu je určena paprskem a kolmicí k rozhraní v místě dopadu paprsku, v případě, že kreslíme na papír nebo na školní tabuli lom světla na rovinném rozhraní, pak rovina dopadu leží přímo na papíře nebo tabuli.

Bodování: 1 bod za dokreslení úhlu dopadu a úhlu lomu, 1 bod za správné pojmenování lomu, 1 bod za doplnění správné nerovnosti, 1 bod za vyjádření, že index lomu závisí na frekvenci vlnění, 1 bod za vyjádření myšlenky, čím je určena rovina dopadu.

Doba: Čas potřebný na řešení úlohy je méně než 3 min.

Úloha 8. Možnosti průchodu vlnění rozhraním

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – **student popíše šíření optického vlnění při dopadu na rozhraní** dvou optických prostředí a na **mřížku**, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – **student popíše šíření optického**

vlnění při dopadu na **rozhraní** dvou prostředí a pro ověření dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.16.

následné	měřitelné	výchozí		
1	0	1	2	3
Student:				
vysloví zákon lomu	rozhodne podle hustot prostředí řazených podél průchodu paprsků, zda dojde k lomu od kolmice nebo ke kolmici	vysloví, za jakých podmínek dojde k lomu ke kolmici a k lomu od kolmice	vysloví definici opticky hustšího a řidšího optického prostředí	vysloví definici indexu lomu
vysloví, co je mezní úhel	podle toho, zda dochází k lomu ke kolmici nebo k lomu od kolmice, určí, jestli může dojít k lomu pod mezním úhlem, lomu pod úhlem 90° a k úplnému odrazu	vysloví, za jakých podmínek dojde k úplnému odrazu		

T II.16 Strukturovaná soustava cílů osmé úlohy.

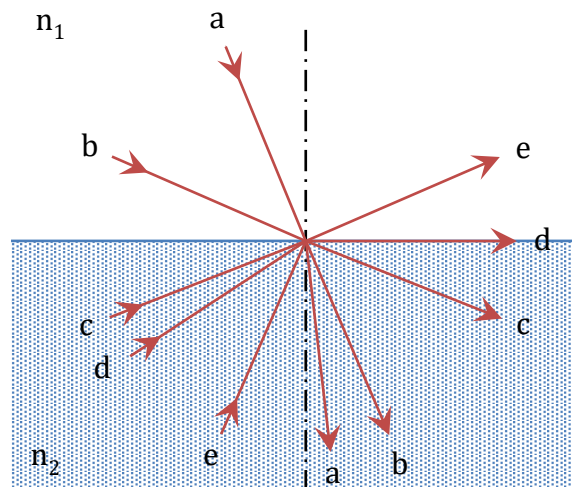
Zadání: Při průchodu světla z opticky hustšího prostředí do prostředí opticky řidšího může dojít k

- totálnímu odrazu
- lomu od kolmice
- lomu ke kolmici
- lomu pod mezním úhlem
- lomu pod úhlem 90°
- Ani jedna odpověď není správná.

Variace: Verze pro variantu B testu byla vytvořena záměnou pořadí optických prostředí při průchodu světla: Při průchodu světla z opticky řidšího prostředí do prostředí opticky hustšího...

Řešení: K lomu pod úhlem 90° při mezním úhlu dopadu nebo totální odraz může nastat jen v případě, že dochází k lomu od kolmice, což odpovídá přechodu světla z opticky hustšího prostředí do prostředí opticky řidšího. V důsledku lomu ke kolmici při

přechodu světla z opticky řidšího prostředí do prostředí opticky hustšího je rozsah úhlů lomu omezen mezním úhlem, pod kterým se lomí paprsek šířící se rozhraním.



O II.7 Nákres možností průchodu optickým rozhraním.

Distraktory: Byly vytvořeny použitím vlastností zvukového vlnění (podélné), vlastností při šíření světla v látkovém prostředí (tlumené), vlastností vázaného vlnění (stojaté).

Správně: Varianta A: totálnímu odrazu, lomu od kolmice, lomu pod úhlem 90° (a, b, e).
Varianta B: lomu ke kolmici, lomu pod mezním úhlem (c, d).

Bodování: 2 body za označení správných nabídek.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je méně než 2 min.

Úloha 9. Vlastnosti vlnění při průchodu rozhraním

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – **student:**

- *určí* vlastnosti různých **druhů** optického vlnění ve vakuu a v optickém prostředí
- *popíše šíření* optického vlnění při dopadu na **rozhraní** dvou optických prostředí a na **mřížku**

a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.17.

Úloha byla zvolena pro doplnění úlohy 7 a měla sloužit k ověření, zda si studenti uvědomují důsledky platnosti definičního vztahu pro index lomu (II.1).

následné	měřitelné	výchozí
1	0	1
Student:		
vysloví definici světla	vyjmenuje charakteristické znaky optického vlnění	
popíše šíření optického vlnění při dopadu na rozhraní dvou prostředí		vysloví zákon lomu

T II.17 Strukturovaná soustava cílů deváté úlohy.

Zadání: Při šikmém průchodu světla z opticky hustšího prostředí do prostředí opticky řidšího se **mění**

- a. frekvence vlnění
- b. rychlost šíření
- c. směr šíření
- d. perioda vlnění
- e. vlnová délka vlnění
- f. Ani jedna odpověď není správná.

Variace: Verze pro variantu B testu byla vytvořena obměnou východiska z mění se na zachovává se: Při šikmém průchodu světla z opticky hustšího prostředí do prostředí opticky řidšího se **zachovává**.

Řešení: Při šikmém průchodu světla rozhraním mezi opticky různými prostředími dochází ke změně směru šíření a v důsledku různých indexů lomu také ke změně vlnové délky.

Distraktory: Byly vytvořeny použitím vlastností vlnění, které se při šikmém průchodu světla rozhraním mezi opticky různými prostředími mění (směr, rychlost, vlnová délka) nebo zachovávají (frekvence, perioda).

Správně: Varianta A: rychlost šíření, směr šíření, (b, c, e), varianta B: frekvence vlnění, perioda vlnění (a, d).

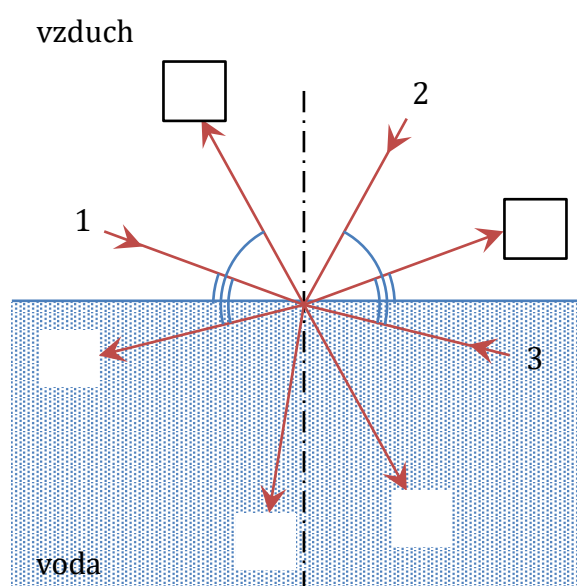
Bodování: 3 body za označení správných nabídek.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je méně než 2 min.

Úloha 10. Odraz a lom vlnění

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – **student popíše šíření** optického vlnění při dopadu na **rozhraní** dvou optických prostředí a na **mřížku**, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – **student znázorní šíření** optického vlnění za různých podmínek dopadu na **rozhraní** dvou optických prostředí a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.18.

Zadání: K paprskům označeným písmeny 1, 2, 3 *přiřad'te* neoznačené paprsky příslušnými písmeny tak, aby byly splněny *zákony šíření* (uvažujte lom i odraz).



O II.8 Nákres k úloze 10.

Variace: Verze pro variantu B testu byla shodná.

Řešení: Paprsky se při dopadu na rozhraní současně odráží i lámou. Paprsek při šíření musí současně splňovat zákon odrazu i lomu.

Distraktory: Směry paprsků byly voleny tak, aby při nesprávném uvědomění si lomu ke kolmici, resp. od kolmice, bylo možné přiřadit i nesprávnou možnost.

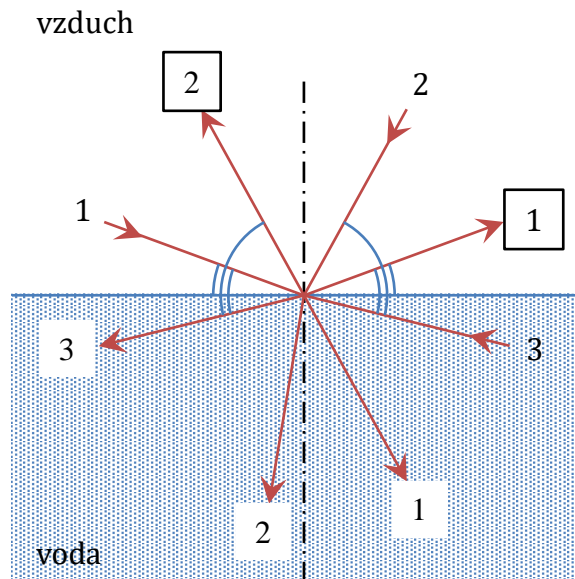
Správně: odraz (a-2, b-1), lom ke kolmici (c-1, d-2), totální odraz (e-3).

Bodování: 1 bod za každý správně přiřazený paprsek, dohromady 5 bodů.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je méně než 2 min.

následné			měřitelné	výchozí					
3	2	1	0	1	2	3	4	5	6
Student:									
<p>popíše způsoby, jakými se světlo šíří prostředím</p> <p>popíše šíření optického vlnění při dopadu na rozhraní dvou prostředí</p> <p>vysloví zákon lomu</p> <p>přihradí při šíření paprsků z prostředí opticky hustšího do řidšího lom ke kolmici a nepřihradí lom od kolmice</p> <p>přihradí při šíření paprsků z prostředí opticky řidšího do hustšího úplný odraz</p> <p>podle toho, zda dochází k lomu ke kolmici nebo k lomu od kolmice, určí jestli může dojít k úplnému odrazu</p> <p>rozhodne podle hustot prostředí řazených podél průchodu paprsků, zda dojde k lomu od kolmice nebo ke kolmici</p> <p>přihradí podle hodnot indexů lomu prostředí opticky hustší a řidší</p> <p>vyčíslí hodnotu indexu lomu vzduchu a skla</p> <p>vysloví definici opticky hustšího a řidšího optického prostředí</p> <p>vysloví definici indexu lomu</p>									
<p>přihradí při šíření paprsků z hustšího do řidšího odraz</p> <p>vysloví zákon odrazu</p>									

T II.18 Strukturovaná soustava cílů desáté úlohy.



O II.9 Šíření paprsků mezi různými optickými prostředími.

Úloha 11. Interference vlnění

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – **student** *popíše* projevy **interference** optického vlnění, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – **student** *popíše* projevy **interference** optického vlnění a pro ověření dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.19.

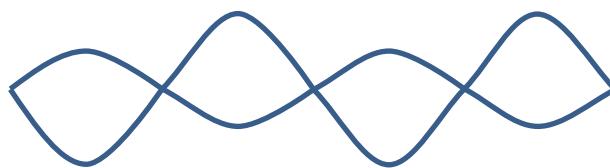
následné	měřitelné	výchozí
1	0	1

Student:

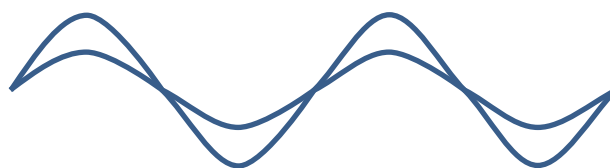
popíše, co je interference světla a podmínky jejího vzniku	znázorní konstruktivně interferující vlnění	znázorní průběh sinusoidy
	znázorní destruktivně interferující vlnění	
	vysloví podmínky interferenčního zesílení a zeslabení a zaznamená vzorcem pro dráhový rozdíl	

T II.19 Strukturovaná soustava cílů 11. úlohy.

Zadání: Část A. Skládáme dvě vlnění se stejnou frekvencí, která se šíří v rovině ve stejném směru. Do obrázku *vyznačte* interference vzniklé výsledné vlnění.



a varianta A



b varianta B

O II.10 Nákresy k úloze 11 prototypu testu.

Část B. Čemu je roven dráhový rozdíl zdrojů interferujících vlnění, aby docházelo k zeslabování vlnění?

$$\Delta l =$$

kde

Variace: Část A. Verze pro variantu b testu byla vytvořena záměnou vlnění ve fázi za vlnění s opačnou fází:

Část B. Verze pro variantu B testu byla shodná.

Řešení: K zesílení vlnění, resp. vzniku interferenčních maxim, dochází v místech, kde se koherentní světelná vlnění setkávají se stejnou fází, k zeslabování, resp. vzniku interferenčních minim, dochází v místech, v nichž mají tato vlnění opačnou fázi.

K zesílení vlnění a vzniku interferenčního maxima dojde, pokud je splněna podmínka pro dráhový rozdíl Δl

$$\Delta l = 2k \frac{\lambda}{2},$$

kde k je celé číslo. K zeslabení vlnění a vzniku interferenčního minima dojde, pokud je splněna podmínka pro dráhový rozdíl Δl

$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

kde k je celé číslo.

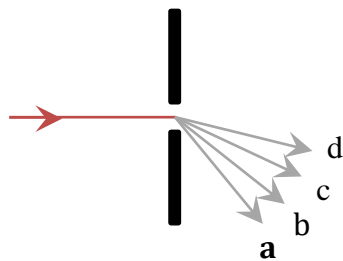
Bodování: 1 bod za dokreslení interferujícího vlnění, 1 bod za doplnění správného vztahu pro dráhový rozdíl, 1 bod za doplňující popisky.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je méně než 3 min.

Úloha 12. Vznik barevného spektra

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – student *popíše šíření* optického vlnění při dopadu na **rozhraní** dvou optických prostředí a na **mřížku**, dále pro ověření hlavního cíle – **student objasní** vznik barevného **spektra** při **lom**u bílého světla **hranolem** a při ohybu bílého světla na **mřížce** a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.20 pro variantu A testu a v tabulce T II.21 pro variantu B testu.

Zadání: Část A. Paprsek bílého světla se ohýbá na mřížce. K paprskům z obrázku *přiřad'te* uvedené barvy.



1. červená
2. fialová
3. modrá
4. zelená

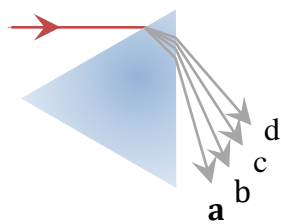
O II.11 Nákres k úloze 12 pro variantu A testu.

Část B. *Napište* zdůvodnění, proč se barva šířící se jako paprsek **a** odchyluje nejvíce?

.....(4 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

Variace: Část A. Verze pro variantu B testu byla vytvořena záměnou ohybu na mřížce za lom hranolem: Paprsek bílého světla se láme pomocí hranolu. K paprskům z obrázku *přiřad'te* uvedené barvy.

následné	měřitelné		výchozí		
1	0	1	2	3	4
Student:					
<p>zaznamenaná vzorec pro interferenční maxima v ohybovém obrazci</p>	<p>objasní vznik barevného spektra při ohybu bílého světla na mřížce</p>	<p>objasní vznik barevného spektra při ohybu bílého světla na mřížce</p>	<p>objasní vznik barevného spektra při ohybu bílého světla na mřížce</p>	<p>objasní vznik barevného spektra při ohybu bílého světla na mřížce</p>	<p>objasní vznik barevného spektra při ohybu bílého světla na mřížce</p>
<p>odvodí, která barva se při ohybu bílého světla mřížkou odchyluje nejvíce / nejméně</p>	<p>odvodí, která barva se při ohybu bílého světla mřížkou odchyluje nejvíce / nejméně</p>	<p>odvodí, která barva se při ohybu bílého světla mřížkou odchyluje nejvíce / nejméně</p>	<p>odvodí, která barva se při ohybu bílého světla mřížkou odchyluje nejvíce / nejméně</p>	<p>odvodí, která barva se při ohybu bílého světla mřížkou odchyluje nejvíce / nejméně</p>	<p>odvodí, která barva se při ohybu bílého světla mřížkou odchyluje nejvíce / nejméně</p>
<p>vyjádří úměru, která platí mezi difrakčním úhlem a vlnovou délkou</p>	<p>vyjádří úměru, která platí mezi difrakčním úhlem a vlnovou délkou</p>	<p>vyjádří úměru, která platí mezi difrakčním úhlem a vlnovou délkou</p>	<p>vyjádří úměru, která platí mezi difrakčním úhlem a vlnovou délkou</p>	<p>vyjádří úměru, která platí mezi difrakčním úhlem a vlnovou délkou</p>	<p>vyjádří úměru, která platí mezi difrakčním úhlem a vlnovou délkou</p>
<p>převede frekvenci vlnění na vlnovou délku</p>	<p>převede frekvenci vlnění na vlnovou délku</p>	<p>převede frekvenci vlnění na vlnovou délku</p>	<p>převede frekvenci vlnění na vlnovou délku</p>	<p>převede frekvenci vlnění na vlnovou délku</p>	<p>převede frekvenci vlnění na vlnovou délku</p>
<p>přičíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>přičíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>přičíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>přičíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>přičíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>přičíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>
<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>
<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>
<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>
<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>	<p>vyčíslejší mezní frekvence a vlnové délky světla</p>



1. červená
2. fialová
3. modrá
4. zelená

O II.12 Nákres k úloze 12 pro variantu B testu.

Část B. Verze pro variantu B testu byla vytvořena jiným situačním východiskem popsaným v části A.

Řešení: Část A. Při ohybu světla na mřížce platí vztah

$$b \sin \gamma = \lambda,$$

kde b je mřížková konstanta a γ úhel, pod kterým se světlo ohýbá. Závislost úhlu ohybu γ na vlnové délce λ je příčinou rozkladu bílého světla na barevné složky při ohybu na mřížce.

Část B. Příčinou rozkladu bílého světla na barevné složky při lomu hranolem je závislost rychlosti šíření v látkovém prostředí na frekvenci optického vlnění a prostřednictvím vztahu (II.2) závislost indexu lomu na frekvenci.

Mezi hodnotou indexu lomu červeného světla n_{ζ} a fialového světla n_f platí nerovnost

$$n_f > n_{\zeta}$$

odkud je již zřejmé, proč se nejvíce láme fialová složka a nejméně červená složka bílého spektra.

Správně: Varianta A: paprsek a – červená, paprsek b – zelená, paprsek c – modrá, paprsek d – fialová (a-1, b-4, c-3, d-2), varianta B: paprsek a – fialová, paprsek b – modrá, paprsek c – zelená, paprsek d – červená (a-2, b-3, c-4, d-1).

Bodování: 1 bod za každé správné přiřazení, dohromady 4 body. 1 bod za správné vysvětlení odchýlení barevných složek.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je přibližně 3 min.

Úloha 13. Výpočet úhlu dopadu a lomu

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – **student řeší** úlohy na **průchod** vlnění mezi různými optickými prostředími za použití **zákonů šíření**, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – **student řeší** příklady na **přechod** paprsků mezi různými prostředími s použitím **zákona lomu** a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.22.

Zadání: Paprsek se šíří ze skla o indexu lomu 1,56 do vzduchu ($n = 1,0$) a na rozhraní dopadá pod úhlem 35° . *Vypočtete úhel lomu paprsku.* Výsledek zaokrouhlete na celé stupně. Výpočet doplňte obrázkem a slovní odpovědí.

(stránka pro zápis studentova řešení)

Variace: Verze pro variantu B testu byla vytvořena záměnou úhlu dopadu za úhel lomu: Paprsek se šíří ze skla o indexu lomu 1,56 do vzduchu ($n = 1,0$) a láme se pod úhlem 35° . *Vypočtete úhel dopadu paprsku...*

Řešení: Světlo prochází ze skla s indexem lomu $n_1 = 1,56$ do vzduchu. Při takovém průchodu musí být splněn zákon lomu. V úloze pro variantu A testu je nutné vypočítat úhel lomu β při úhlu dopadu $\alpha = 35^\circ$, proto z rovnice (II.2) vyjádříme úhel lomu

$$\beta = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \alpha\right).$$

Nyní dosadíme zadané hodnoty

$$\beta = \arcsin(1,56 \cdot \sin 35^\circ) \approx \arcsin(1,56 \cdot 0,574)$$

$$\beta \approx 63^\circ 28' \approx 63^\circ \approx 1,1 \text{ rad} \approx \frac{\pi}{3} \text{ rad}.$$

V úloze pro variantu B testu je nutné vypočítat úhel dopadu α při úhlu lomu $\beta = 35^\circ$, proto z rovnice (II.2)(II.1) vyjádříme úhel dopadu

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1} \sin \beta\right).$$

Nyní dosadíme zadané hodnoty

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\sin 35^\circ}{1,56}\right) \approx \arcsin\left(\frac{0,574}{1,56}\right)$$

$$\alpha \approx 21^\circ 34' \approx 21^\circ \approx 0,37 \text{ rad} \approx \frac{\pi}{9} \text{ rad}.$$

Cíle	následné	měřitelné	výchozí		
	1	0	1	2	
Student:					
1		popíše šíření optického vlnění při dopadu na rozhraní dvou prostředí	vysloví, co je úhel dopadu, co je úhel odrazu a co je úhel lomu		
2			vysloví definici opticky hustšího a řidšího optického prostředí		
3			znázorní zákon lomu nákresem		
4	vypočítá úhel dopadu / lomu při přechodu paprsků mezi různými prostředími s použitím zákona lomu	vysloví zákon lomu a zaznamená vzorcem			
5		odvodí vztah pro úhel dopadu $\alpha = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1} \sin \beta\right)$			
6		odvodí vztah pro úhel lomu $\beta = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1} \sin \alpha\right)$	vyjádří ze zákona lomu $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$ veličinu α, β		provádí úpravy algebraických výrazů
7		zaznamená výsledek	provádí číselné operace s reálnými čísly		
8		zapiše slovní odpověď			

Správně: Varianta A: Úhel lomu paprsku šířícího se ze skla o indexu lomu 1,56 do vzduchu dopadajícího na rozhraní pod úhlem 35° činí přibližně 63° .

Varianta B: Úhel dopadu paprsku šířícího se ze skla o indexu lomu 1,56 do vzduchu dopadajícího na rozhraní pod úhlem 35° činí přibližně 21° .

Bodování: 1 bod za zápis a vyvození a označení neznámé veličiny, 1 bod za vhodný nákres, 1 bod za zápis zákona lomu (II.2) s odpovídajícím značením proměnných, 1 bod za dosazení správných veličin, 1 bod za správný výpočet výsledku a 1 bod za správnou odpověď.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je méně než 5 min.

Úloha 14. Výpočet mezního úhlu a indexu lomu prostředí

Zdůvodnění: Úloha byla zařazena pro ověření naplnění klíčového cíle – **student řeší** příklady na **průchod** vlnění mezi různými optickými prostředími za použití **zákonů šíření**, dále pro ověření naplnění hlavního cíle – **student řeší** úlohy na **počítání s mezním úhlem** pro různá prostředí a pro ověření naplnění dílčích výukových cílů uvedených v tabulce T II.23.

Zadání: *Vypočtěte mezní úhel* pro rozhraní kapaliny s indexem lomu 1,3 se vzduchem ($n = 1,0$). Výsledek zaokrouhlete na celé stupně. Výpočet doplňte obrázkem a slovní odpovědí.

(stránka pro zápis studentova řešení)

Variace: Verze pro variantu B testu byla vytvořena obměnou zadání: Paprsek se šíří neznámým prostředím k rozhraní se vzduchem. *Vypočtěte index lomu neznámého prostředí*, jestliže paprsek dopadá pod úhlem 48° a láme se do rozhraní. Výsledek zaokrouhlete na dvě platné číslice. Výpočet doplňte obrázkem a slovní odpovědí.

Řešení: V úloze pro variantu A testu je nutné vypočítat mezní úhel α_m při přechodu paprsku z kapaliny s indexem lomu $n_1 = 1,3$ do vzduchu. K tomu využijeme rovnice (II.3) zjednodušené ze zákona lomu, přičemž vyjádříme mezní úhel

$$\alpha_m = \arcsin \frac{1}{n_1}.$$

Nyní dosadíme

$$\alpha_m = \arcsin \frac{1}{1,3}$$

$$\alpha_m \approx 50^\circ 17' \approx 50^\circ \approx 0,88 \text{ rad} \approx \frac{2}{7} \pi \text{ rad.}$$

V úloze pro variantu B testu je nutné vypočítat index lomu prostředí n_1 v němž paprsek dopadá na rozhraní pod mezním úhlem $\alpha_m = 48^\circ$ a láme se pod úhlem $\beta = 90^\circ$. Po dosazení do rovnice (II.2) platí

$$n_1 = \frac{1}{\sin \alpha_m}. \quad (\text{II.4})$$

Nyní dosadíme zadané hodnoty

$$n_1 = \frac{1}{\sin 48^\circ} \approx \frac{1}{0,743}$$

$$n_1 \approx 1,35.$$

Cíle	následné		měřitelné		výchozí	
	2	1	0	1	2	3
Student:						
1	řeší úlohy na přechod paprsků mezi různými prostředími s použitím zákona lomu		popíše šíření optického vlnění při dopadu na rozhraní dvou prostředí	vysloví, za jakých podmínek dojde k úplnému odrazu	vysloví, co je mezní úhel	vysloví, co je úhel dopadu, co je úhel odrazu a co je úhel lomu
2				vysloví definici opticky hustšího a řidšího optického prostředí		
3				znázorní zákon lomu nákresem		

Cíle	následné		měřitelné		výchozí	
	2	1	0	1	2	3
Student:						
4	vypočítá mezní úhel při přechodu paprsků mezi různými prostředími s použitím zákona lomu		vysloví zákon lomu a zaznamenaná vzorcem			
5			odvodí vztah pro mezní úhel $\alpha = \frac{1}{n_1} \arcsin \frac{1}{n_1}$		vyjádří ze zákona lomu $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$ veličinu α, β	
6			odvodí vztah pro index lomu $n_1 = \frac{1}{\alpha}$		provádí úpravy algebraických výrazů	
7			zaznamená výsledek		provádí číselné operace s reálnými čísly	
8			zapiše slovní odpověď			

T II.23 Strukturovaná soustava cílů 14. úlohy.

Správně: Varianta A: Mezní úhel pro rozhraní kapaliny s indexem lomu 1,3 se vzduchem je přibližně 50°.

Varianta B: Index lomu neznámého prostředí je přibližně 1,35.

Bodování: 1 bod za zápis a vyvození a označení neznámé veličiny, 1 bod za vhodný nákres, 1 bod za zápis zákona lomu (II.2) s odpovídajícím značením proměnných, 1 bod za dosazení správných veličin, 1 bod za správný výpočet výsledku a 1 bod za správnou odpověď.

Doba: Čas potřebný na vyřešení úlohy je méně než 5 min.

5.6 Shrnutí

Souhrn původců cílů spolu s jejich důležitostmi, úrovní hlavních cílů podle Niemierkovy taxonomie a druhu úloh pro úlohy prototypu testu je uveden v tabulce T II.24.

Úl.	učebnice (str.)	důležitost		úroveň osvoj.	druh úlohy	čas (min)	hodnocení	
		hl. cílů	subj.				druh	norm.
1	189	RVP/ŠVP	3	A	výběrové	1	binární	2
2	29	specifické	2	A	výběrové	1	předpis	2
3	188	RVP/ŠVP	1	A (B)	přiřazovací	2	binární	4
4	34	specifické	2	A	široké nestrukturované	3	předpis	3
	191			B	produkční			
5	35	specifické	1	B	široké nestrukturované	3	předpis	4
	35			C	produkční			
6	193	RVP/ŠVP	3	A	produkční	3	binární	2
	194	specifické		B	široké nestrukturované		předpis	1
7	193	specifické	2	A	situační	3	binární	4
				B	dichotomické			
	195			B	dichotomické			
	196			B	dichotomické			
	192		A	produkční		předpis	1	
8	195	RVP/ŠVP	2	C	výběrové	2	předpis	3
9	190	specifické	3	B	výběrové	2	předpis	3
10	192	RVP/ŠVP	2	D	situační	2	binární	5
11	31	RVP/ŠVP	3	B	situační	3	předpis	1
	203			A	produkční		binární	2
12	197/204	RVP/ŠVP	2	B	přiřazovací	3	binární	4
				C	široké nestrukturované		předpis	1
13	198	RVP/ŠVP	3	C/D	široké strukturované	5	předpis	5
14			3	C/D	široké strukturované	5	předpis	5
Cel.						38	52	

T II.24 Souhrn vlastností testových úloh. Úroveň osvojení je rozvrstvena podle Niemierkovy taxonomie výukových cílů: A – zapamatování poznatků, B – porozumění poznatkům, C – používání vědomostí v typových situacích, D – používání vědomostí v problémových situacích.

6 VYHODNOCENÍ PROTOTYPU TESTU

Prototyp testu byl prakticky realizován na Střední průmyslové škole elektrotechnické, Ječná 30, Praha 2 ve třídách C2a, C2b a A2 v termínech 9. a 12. června 2017. Testováno bylo dohromady 80 studentů.

Pro rychlejší a pohodlnější vyhodnocení testů byly vytvořeny tabulky správných odpovědí. Uvedeny jsou v příloze G na straně 131.

6.1 Skórování testu

V této kapitole je uvedeno podrobné vyhodnocení vybraných deseti vybraných studentů. Celkové vyhodnocení všech studentů je uvedeno v souboru „Vyhodnocení testu.xlsx“ na přiloženém kompaktním disku.

Test byl skórován podle předpisu uvedeného u každé úlohy v kapitole 5.5. Hrubé skóre bylo přepočteno na známku na základě normálního rozdělení [2, p. 151]. Hrubé skóre spolu se známkami vybraných studentů je uvedeno v tabulce T II.25, celkové vyhodnocení prototypu testu pro všechny tři třídy je uvedeno v tabulce T II.26.

Stud.	var.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	celk.	zn.	
		body														%		
1		2	1	2	3	3	3	0	0	0	3	1	2	5	4	21	40,4 %	3
2		2	1	1	1	0	3	2	1	1	2	0	1	2	1	18	34,6 %	3
3	A	0	1	1	0	0	1	3	2	0	2	1	3	4	1	19	36,5 %	3
4		0	1	4	3	2	3	3	1	2	5	0	0	4	5	33	63,5 %	1
5		2	1	2	3	2	3	1	3	1	2	0	4	5	2	31	59,6 %	1
6		2	0	1	3	3	2	2	0	3	3	0	2	0	0	21	40,4 %	3
7		2	0	4	0	1	1	0	1	1	0	0	0	2	0	12	23,1 %	4
8	B	2	0	0	0	0	2	0	0	0	4	0	5	0	0	13	25,0 %	4
9		2	1	2	0	0	1	2	0	1	1	0	1	2	5	18	34,6 %	3
10		2	1	4	0	0	1	1	1	1	3	0	1	5	5	25	48,1 %	2

T II.25 Hodnocení deseti vybraných studentů třídy C2b.

Studentů	přít.	třída			Celk.
		C2a	C2b	A2	
		31	25	24	80
Bodů		22,2	15,6	17,3	18,4
známka		2,6	2,2	3,0	2,6

T II.26 Celkové vyhodnocení prototypu testu.

6.2 Komplexní vyhodnocení

Při komplexním vyhodnocení se nejprve vyhodnocují úlohy testu vzhledem ke stanoveným cílům testu a následně až celý test.

V této kapitole je uvedeno podrobné vyhodnocení vybraných deseti vybraných studentů. Celkové vyhodnocení všech studentů je uvedeno v souboru „Komplexní vyhodnocení testu.xlsx“ na přiloženém kompaktním disku.

6.2.1 Vyhodnocení úloh testu

Sledovány byly všechny stanovené cíle uvedené v tabulkách T II.9 až T II.23 dohromady čítající 63 měřitelných cílů a 58 vázaných cílů. Na základě naplňování těchto cílů byly vyhodnoceny naplnění hlavních cílů úloh, kterých bylo 14. Vyhodnocení měřitelných a vázaných cílů podle počtu naplněných cílů vybranými studenty je uvedeno v tabulce T II.1 a vyhodnocení hlavních cílů úloh je uvedeno v tabulce T II.28.

Student	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	A					B				
Cíle	počet splněných									
měřitelné	30	26	18	18	19	38	21	20	12	6
vázané	27	17	16	15	19	38	19	19	9	11
hlavní	6	5	3,5	4	5	11	2,5	1,5	1	1

T II.27 Zhodnocení naplnění měřitelných a dílčích cílů deseti vybraných studentů třídy C2b.

6.2.2 Vyhodnocení testu

V případě celkového vyhodnocení testu je sledováno 26 dílčích cílů opakujících se napříč úlohami testu a pět klíčových cílů. Vyhodnocení naplnění opakujících se cílů vybranými studenty je uvedeno v tabulce T II.29 a vyhodnocení klíčových cílů je uvedeno v tabulce T II.30.

Student:	vyčíslí rychlost světla ve vakuu pomocí různých jednotek soustavy SI	určí vlastnosti světla v reálném prostředí	seřadí jednotlivé barvy světla a druhy elektromagnetického vlnění podle frekvence...	používá paprsky a vlnoplochy ke znázornění šíření optického vlnění	použije Huygensův princip ke zjištění prostorového rozložení optického vlnění v prostředí	vysvětlí význam indexu lomu	popíše šíření optického vlnění při dopadu na rozhraní dvou prostředí	vyjádří důsledky závislosti indexu lomu na frekvenci a vlnové délce	popíše šíření optického vlnění při dopadu na rozhraní dvou prostředí	znázorní šíření optického vlnění za různých podmínek dopadu na rozhraní dvou...	popíše projevy interference optického vlnění	objasní vznik barevného spektra při lomu bílého světla hranolem a při ohybu bílého světla...	řeší úlohy na přechod paprsků mezi různými prostředími s použitím zákona lomu	řeší úlohy na počítání s mezním úhlem pro různá prostředí	celkem
1	1	0	0	1	0	1	0,5	0	0,5	0	1	0	0	1	6
2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	5
3	1	0	0	0	0	0	0,5	1	1	0	0	0	0	0	3,5
4	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	4
5	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	5
6	0	1	1	1	1	1	0,5	1	1	0	1	1	0	1	11
7	0	0	0	1	0	0	0,5	1	0	0	0	0	0	0	2,5
8	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1,5
9	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	1
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

T II.28 Zhodnocení naplnění hlavních cílů deseti vybraných studentů třídy C2b.

Student	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cíle	počet splněných									
opakující	12	14	8,7	9	6,7	18	9,3	12	4,2	1,5
klíčové	2,7	1,7	0,9	0,9	1,1	3,9	0,9	0,3	0,4	0,2

T II.29 Zhodnocení naplnění měřitelných a dílčích cílů deseti vybraných studentů třídy C2b.

Stud.:	určí vlastnosti různých druhů optického vlnění ve vakuu a v optickém prostředí	popíše šíření optického vlnění	popíše šíření optického vlnění při dopadu na rozhraní dvou prostředí a na mřížku	popíše projevy interference optického vlnění	řeší úlohy na průchod vlnění mezi různými prostředími za použití zákonů šíření	celk.
1	0,5	0,5	0,2	1	0,5	2,7
2	0,3	0,5	0,4	0	0,5	1,7
3	0,5	0	0,4	0	0	0,9
4	0,3	0	0,6	0	0	0,9
5	0,7	0	0,4	0	0	1,1
6	0,8	1	0,6	1	0,5	3,9
7	0	0,5	0,4	0	0	0,9
8	0,3	0	0	0	0	0,3
9	0	0	0,4	0	0	0,4
10	0,2	0	0	0	0	0,2

T II.30 Zhodnocení naplnění klíčových cílů deseti vybraných studentů třídy C2b.

Samořejmě by bylo vhodné hloubkově analyzovat obě hodnocení a porovnávat je z hlediska jejich vlastností, nicméně tato hloubková analýza by byla nad rámec časových možností autora. I tak je možné shrnout, že komplexní vyhodnocení poskytuje mnohem více informací o dosažených znalostech a dovednostech studenta a jeho výstupy je možné přímo porovnávat se stanovenými cíli RVP a ŠVP.

7 ZHODNOCENÍ PRÁCE

Během práce na této BP jsem vytvořil soubor vlastních pravidel pro tvorbu a vyhodnocování testů:

1. Pro komplexní vyhodnocení testů je nezbytné učivo pokrýt soustavou hierarchicky uspořádaných cílů podle úrovně osvojení.
2. Komplexní vyhodnocení testů spočívá v porovnávání projevených znalostí a dovedností studenta s cíli soustavy.
3. Podle toho, jak je soustava podrobná, je možné přesně vysledovat rozsah a charakter znalostí a dovedností studenta.

Je nemožné porovnávat komplexní hodnocení se skórováním. Každý systém pracuje na rozlišném základu. Komplexní vyhodnocení sleduje naplňování cílů studentem, kdežto skórování sleduje výkony studenta.

Zajímavou vlastností komplexního vyhodnocení je jeho značná modularita. Vhodnou volbou cílů, může poskytnout i informace o výkonu studenta, např. zařazení cíle – **student vyřeší početní úlohy...** nám může poskytnout žádané informace o výkonu studenta, přičemž zmíněný cíl by zřejmě integroval několik hlavních cílů početních úloh.

Možnost dalších rozšíření komplexního vyhodnocování

Do systému komplexního vyhodnocení je především vhodné zavést kategorii tzv. integrujících cílů, což by byly mnohem komplexnější cíle než cíle klíčové. Operovaly by napříč všemi cíli testu, tudíž by poskytovaly informace o naplňování velmi speciálních nebo naopak obecných cílů. Například: **student**:

- *vysloví **definice** týkající se obsahu učiva Vlnové optiky*
- *vypočítá **početní úlohy** týkající se obsahu učiva Vlnové optiky*
- *pamatuje si číselné **konstanty** týkající se učiva Vlnové optiky*
- *pamatuje si **specifické poznatky** týkající se učiva Vlnové optiky*

Ale v případě, že by struktury cílů byly k dispozici pro celé učivo fyziky, mohli bychom sledovat naplňování cílů:

- *vysloví* **definice**
- *pamatuje si* číselné **konstanty**
- *provádí* číselné **operace** s reálnými čísly,

takže bychom při celkovém hodnocení studenta byli schopni dospět k velmi komplexním závěrům.

Dalším možným rozšířením je rozčlenění cílů podle původu, tedy konkrétně zda cíl sleduje naplnění nově nabývaného učiva nebo učiva staršího, již důvěrně známého. Pokud test ověřuje nové a stejně tak i předchozí učivo, je možné porovnáním dosahovaných úrovní v obou zmíněných oblastech rozpoznat začínají studijní problémy studenta.

Komplexní vyhodnocení je zavedeno velmi obecně, proto je ho možné zavést všude tam, kde je potřeba sledovat naplňování stanovených cílů. Použití tedy není vázáno jen na oblasti odborných předmětů, ale celkově na všechny oblasti vzdělávání.

ZÁVĚR

Hlavní cíl práce, kterým bylo vytvořit didaktický test na základě didaktické analýzy učiva, byl splněn. Test byl vytvořen v souladu s kurikulárními dokumenty, podmínkami školy a zvyklostmi vyučujícího spolupracující školy.

Test byl prakticky ověřen na studentech druhého ročníku Střední průmyslové školy elektrotechnické, Ječná 30, Praha 2 ve třech třídách čítajících dohromady 80 studentů a jeho výstupy posloužily vyučujícímu k celkovému hodnocení testovaných studentů.

V práci byly studovány možnosti, jak lze k bodovému skóre testu přidat i slovní hodnocení, v němž by bylo zahrnuto také kvalitativní posouzení znalostí, dovedností a rozvinutých schopností studenta – tedy komplexního hodnocení studenta. Byla navržen postup, kdy je k testovanému učivu na základě analýzy cílů kurikulárních dokumentů, témat a vyučovacích hodin vytvořena tzv. strukturovaná soustava cílů a naplnění cílů této struktury se porovnává s projevenými znalostmi a dovednostmi studenta v testu.

Závěry pro praxi

Komplexní vyhodnocení je robustní, leč náročná technika, a to především na přípravu zmíněné strukturované soustavy cílů a provedení samotného vyhodnocení. Nicméně komplexní vyhodnocení je velmi efektivní z hlediska získávání informací o studentových znalostech a dovednostech.

Technika komplexního vyhodnocení je velmi snadno rozšířitelná, aby poskytovala velmi komplexní informace o studentových dovednostech, znalostech a rozvinutých schopnostech. Její použití není vázáno jen na oblasti odborných předmětů, lze ji použít všude tam, kde je potřeba sledovat naplnění stanovených cílů – tedy ve vzdělávání všeobecně.

Nicméně, aby bylo v praxi možné techniku komplexního vyhodnocování používat je nezbytné zavést *automatizaci* při zpracování vyhodnocení.

PŘÍLOHY

A RÁMCOVÝ VZDĚLÁVACÍ PROGRAM

A.1 Rámcový vzdělávací program pro obor elektrotechnika

Výpis učiva a výsledků vzdělávání pro stanovený obor prototypu testu z RVP pro obor elektrotechnika 26–41–M/01 [10, p. 28], podle kterého se vyučuje na spolupracující škole v programech aplikace počítačů v automatizaci a robotice, digitální telekomunikační a informační systémy a elektronické počítačové systémy.

Učivo podle RVP

1. Světlo a jeho šíření
2. Elektromagnetické záření, spektrum elektromagnetického záření, rentgenové záření
3. Vlnové vlastnosti světla

Výsledky vzdělávání podle RVP

Student:

- *charakterizuje světlo* jeho vlnovou délkou a rychlostí v **různých** prostředích
- *řeší úlohy* na **odraz** a **lom** světla
- *vysvětlí podstatu* jevů **interference**, **ohyb** a **polarizace** světla
- *popíše význam různých* druhů elektromagnetického záření z hlediska **působení** na člověka a **využití** v praxi

A.2 Rámcový vzdělávací program pro obor informační technologie

Výpis učiva a výsledků vzdělávání pro stanovený obor prototypu testu z RVP pro obor informační technologie 18–20–M/01 [11, p. 29], je shodný s oborem elektrotechnika 26–41–M/01, proto zde již není uváděn.

B ŠKOLNÍ VZDĚLÁVACÍ PROGRAM

Na škole jsou vyučovány obory Elektrotechnika a Informační technologie. V rámci oboru Elektrotechnika mohou studenti studovat v programech Elektronické počítačové systémy, Aplikace počítačů v automatizaci a robotice a Digitální telekomunikační a informační systémy, v rámci oboru Informační technologie škola nabízí program Programování a aplikace počítačů.

Na škole se RVP transformuje do ŠVP podle tabulky T III.1, dále je vypracován učební plán školy (dále jen UPŠ) pro jednotlivé obory.

RVP			ŠVP		
Vzdělávací oblast	počet VH		vyučovací předmět	počet VH	
	týdně	celk.		týdně	celk.
Přírodovědné vzdělávání	6	192	Fyzika	4	128
			Chemie	2	64

T III.1 Transformace RVP do ŠVP na spolupracující škole.

B.1 Učební plán na spolupracující škole

Týdenní počty hodin podle UPŠ, podle kterého se vyučuje na spolupracující škole v programech Elektronické počítačové systémy, Aplikace počítačů v automatizaci a robotice, Digitální telekomunikační a informační systémy a Programování a aplikace počítačů, jsou uvedeny v tabulce T III.2.

Název předmětu	obor	počet hodin týdně				celk.
		1	2	3	4	
Fyzika	Elektrotechnika	2	2	0	0	4
	Programování a aplikace počítačů	2	2	0	2	6

T III.2 Týdenní počty hodin pro obory Elektrotechnika a Programování a aplikace počítačů.

B.2 Školní vzdělávací program na spolupracující škole

Výpis učiva a výsledků vzdělávání pro stanovený obor prototypu testu ze ŠVP pro obor Elektrotechnika [16, p. 118] a pro obor Informační technologie [18, p. 116], a podle kterých se vyučuje na spolupracující škole v programech Aplikace počítačů v automatizaci a robotice, Digitální telekomunikační informační systémy, Elektronické počítačové systémy a Programování a aplikace počítačů.

Učivo podle ŠVP

1. Světelné frekvence, rychlost šíření světla
2. Zákony šíření světla
 - a. odraz
 - b. lom
3. interference
 - a. odrazem na tenké vrstvě
 - b. ohybem na mřížce
4. Polarizace, spektrum záření, rentgenové záření

Výsledky vzdělávání podle ŠVP

Student:

- *charakterizuje světlo jeho vlnovou délkou a rychlostí v různých prostředích*
- *řeší úlohy na odraz a lom světla*
- *vysvětlí podstatu jevů interference, ohyb a polarizace světla*
- *popíše význam různých druhů elektromagnetického záření z hlediska působení na člověka a využití v praxi*

C TEMATICKÝ PLÁN NA SPOLUPRACUJÍCÍ ŠKOLE

Výpis části časově tematického plánu a výsledků vzdělávání pro stanovený obor prototypu testu z TP podle spolupracující školy pro programy aplikace počítačů v automatizaci a robotice, digitální telekomunikační a informační systémy a elektronické počítačové systémy.

Vzhledem ke stanovenému oboru prototypu testu se časově tematický plán na spolupracující škole týkal 2. ročníku a 2. pololetí školního roku 2016/2017 a je uveden v tabulce T III.3. Podle kalendáře má uvedené pololetí 20 týdnů. Výuka týkající se vypracovávaného DT se uskutečnila ve 4 týdnech, což při dotaci 2 hodiny týdně činilo dohromady 7 hodin.

Měsíc	týden		počet VH		témata	poznámky
		v TK		v TK		
Březen	6	23	1	46	Mechanické vlnění	Mechanické vlnění – úvod, druhy vlnění
	7	24	1	47		Rovnice vlnění
			1	48		Šíření vlnění
	8	-				Jarní prázdniny
	9	25	1	49	Akustika	Odraz a lom
			1	50		Zdroje zvuku, zvukové frekvence, charakteristiky tónu
1			51	Ultrazvuk, intenzita, práh slyšitelnosti a bolesti, opakování		
10	26	1	52		Test	

Měsíc	týden		počet VH		témata		poznámky	
		v TK		v TK	celek	části		
Duben	11	27	1	53	Světlo vlnění	jako	Optické vlnění – úvod, přístupy	Návaznost na mechanické vlnění
			1	54			Světelné frekvence, rychlost šíření světla	
	12	28	1	55			Huygensův princip	
							-	Velikonoční prázdniny
	13	28	1	56			Zákony šíření – odraz a lom	
	14	29	1	57			Interference – úvod	
			1	58	Interference na tenké vrstvě a na mřížce			
Květen	15	30	1	59			-	Svátek práce
								Polarizace
	16	31	1	60			-	Den vítězství
								Spektrum záření, rentgenové záření, opakování
	17	rez.	1	61				Test
			1	62				Vyhodnocení testu
Celk.	23		37					

T III.3 Vybraná část časově tematického plánu pro 2. ročník střední průmyslové školy ve 2. pololetí školního roku 2016/2017.

Výstupní znalosti a kompetence podle TP

Student:

- *charakterizuje světlo jeho vlnovou délkou a rychlostí v různých prostředích*
- *řeší úlohy na odraz a lom světla*
- *vysvětlí podstatu jevů interference, ohyb a polarizace světla*
- *popíše význam různých druhů elektromagnetického záření z hlediska působení na člověka a využití v praxi*

D SKICA VÝUKOVÝCH CÍLŮ

Skica výukových cílů pro stanovený obor prototypu testu. Cíle jsou členěny podle Niemierkovy taxonomie výukových cílů. Vytyčeným cílům je přiřazena důležitost na škále 0 až 3 podle tabulky T III.4.

Důležitost			
nadhraniční			podhraniční
vysoká	normální	nízká	
3	2	1	0

T III.4 Přiřazení důležitostí vytyčeným cílům.

1. Poznávací cíle

a. Zapamatování (znalost)

Student:

<i>Cíl</i>	<i>priorita</i>
▪ pojmenuje různé přístupy k optickým jevům	1
▪ <i>definuje a vyčíslí rychlost světla ve vakuu</i>	3
▪ <i>definuje vlnovou délku a její jednotky</i>	2
▪ <i>vyjmenuje mezní frekvence a vlnové délky světla</i>	3
▪ mezním frekvencím a vlnovým délkám <i>přiřadí barvy</i> a obráceně	2
▪ <i>seřadí podle vzrůstající nebo klesající frekvence a vlnové délky šest barev spektra</i>	2
▪ k vlnové délce záření <i>přiřadí příklad zdroje</i> takového záření	1
▪ <i>popíše interakci</i> různých druhů záření s pokožkou a částí oka	1
▪ <i>určí vlastnosti</i> volně šířícího se vlnění ve vakuu a v optickém prostředí	3
▪ <i>definuje homogenní; izotropní, anizotropní optické prostředí</i>	1
▪ <i>definuje vlnoplochu a paprsek</i>	2
▪ <i>pojmenuje a vysloví Huygensův princip</i>	3
▪ <i>vysloví zákon přímočarého šíření</i> a princip nezávislosti chodu paprsků	2
▪ <i>definuje index lomu, zaznamená jeho definiční vzorec</i> a <i>pamatuje si</i> hodnotu indexu lomu vzduchu a skla	3
▪ <i>popíše závislost indexu lomu na vlnové délce a frekvenci</i>	1

- podle hodnot **indexů lomu** prostředí na rozhraní **určí opticky hustší a řidší prostředí** a obráceně 3
- **vysloví zákon odrazu a zaznamená vzorcem** 3
- **pojmenuje a vysloví zákon lomu a zaznamená vzorcem** 3
- **definuje rovinu dopadu** 2
- ve schématu zobrazujícím lom světla na rozhraní **přiřadí lom od kolmice, lom ke kolmici a úplný odraz** 2
- **popíše spektroskop a spektrograf** 0
- **popíše polarizované světlo** 1
- **vyjmenuje různé druhy polarizace** 0
- **vyjmenuje různé způsoby polarizace, pojmenuje polarizační úhel** 1
- **určí vlastnosti** interferujícího vlnění **ve vakuu a v optickém prostředí** 2
- **popíše interferenci světla a koherentní světlo** 2
- **definuje optickou dráhu a dráhový rozdíl a zaznamená vzorcem** 2
- **definuje podmínky interferenčního maxima a minima a zaznamená vzorcem** 2
- **zaznamená vzorec pro interferenční maxima v ohybovém obrazci** 2

b. Porozumění

Student:

<i>Cíl</i>	<i>priorita</i>
▪ zdůvodní různé přístupy k optickým jevům	0
▪ převeďte vlnovou délku na frekvenci kmitání a opačně	3
▪ jednu veličinu (c, λ, f, T) vypočítá pomocí ostatních veličin $(\{\lambda, f, T\}, \{c, f, T\}, \{c, \lambda, T\}, \{c, \lambda, f\})$	2
▪ popíše účinky různých druhů záření na pokožku a oči	1
▪ vysvětlí svými slovy Huygensův princip	2
▪ vysvětlí svými slovy význam indexu lomu	2
▪ jednu veličinu (n, f, T) vypočítá pomocí veličin $(\{c, v\}, \{\lambda_0, \lambda\})$	1
▪ ze zákona lomu $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$ vyjádří veličinu n_1, n_2, α, β	3
▪ objasní vznik barevného spektra při lomu bílého světla hranolem	2
▪ v nákresu rozhodne , které prostředí je opticky hustší a řidší, uvede konkrétní příklady takových rozhraní	3
▪ objasní úplný odraz	2
▪ vysvětlí přenos optickým vláknem	1
▪ rozliší spektroskop a spektrograf	0
▪ vyjádří rozdíl polarizovaného světla od nepolarizovaného světla	1
▪ objasní různé způsoby polarizace	1

- vypočítá **polarizační úhel** 0
- vysvětlí princip **polarimetru** 0
- **objasní koherenci světla, vysvětlí fázový rozdíl** 1
- vysvětlí vznik **interferenčního maxima a minima** 2
- **objasní vznik barevného spektra při ohybu bílého světla na mřížce** 2

c. Použití

Student:

<i>Cíl</i>	<i>priorita</i>
▪ řeší úlohy použitím vztahů $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$, $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{T}$ a $T = \frac{\lambda}{c}$	2
▪ odvodí zákon lomu a odrazu pomocí Huygensova principu	1
▪ řeší úlohy použitím vztahů $n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda}{\lambda_0}$, $v = \frac{c}{n}$ a $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$	1
▪ řeší úlohy přechodu paprsků mezi různými prostředími s použitím zákona lomu $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$	3
▪ s použitím zákona lomu odvodí vztah pro mezní úhel $\alpha = \arcsin \frac{1}{n_1}$	2
▪ odvodí vztah pro polarizační úhel $\alpha = \arctg \frac{n_2}{n_1}$	0
▪ odvodí, jak se odchyľují různé barvy spektra při lomu hranolem	2
▪ odvodí podmínky interferenčního maxima a minima pro různé případy	1
▪ spočítá příklady na odvození geometrických vlastností interferenčních obrazců	0
▪ odvodí, jak se odchyľují různé barvy spektra při ohybu na mřížce	2
▪ vypočítá ohyb světla na mřížce pomocí vzorce $b \sin \alpha_k = k\lambda$	1

2. Operační cíle

Student:

<i>Cíl</i>	<i>priorita</i>
▪ sestrojí paprsky v homogenním prostředí, načrtne vlnoplochu a paprsky v izotropním a anizotropním prostředí	2
▪ zkonstruuje vlnoplochy k paprskům a obráceně	2
▪ znázorní zákon odrazu a zákon lomu	3
▪ zkonstruuje průběh šíření rovinné a kulové vlny pomocí Huygensova principu	2
▪ zkonstruuje zákon odrazu a zákon lomu pomocí Huygensova principu	1

3. Hodnotové cíle

Student:

<i>Cíl</i>	<i>priorita</i>
▪ obhájí různé přístupy k optickým jevům	0
▪ vymezí technologické komplikace optických zařízení	0
▪ uvědomuje si rizika působení viditelného a neviditelného záření na tělní tkáň	3

Skica byla upravena do konečné podoby výukových cílů uvedeného v kapitole 4.2.4 na straně 52.

E NÁVRH ÚLOH TESTU

Návrh úloh pro stanovený obor prototypu testu byl vypracován na základě didaktické analýzy učiva uvedené v kapitole 4.2.1 na straně 49 sestavené z používané učebnice na spolupracující škole [17], dále pomocí specifikací tabulky T II.7 z kapitoly 4.2.3 na straně 51 a skici výukových cílů z kapitoly D na straně 104. Tento návrh byl následně diskutován a připomínkován učitelem spolupracující školy a upraven do konečné podoby prototypu testu uvedeného v kapitole F na straně 122.

Úloha 1. Rychlost světla ve vakuu (produkční)

Zadání: Rychlost světla ve vakuu je $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Úloha 2. Rychlost světla ve vakuu (výběrová)

Zadání: Vyberte hodnotu rychlosti světla ve vakuu. Správně může být více než jedna odpověď.

- a. $1\,079\,252\,946 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
- b. $3,315\,7 \cdot 10^2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
- c. $299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- d. $314\,159\,265 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- e. Ani jedna odpověď není správná.

Variace: Verze úlohy pro jinou variantu testu může být vytvořena záměnou nebo změnou pořadí distraktorů.

Úloha 3. Vlastnosti světelného záření

Zadání: Světlo jako vlnění je ve vakuu

- a. podélné
- b. postupné
- c. příčné
- d. stojaté
- e. tlumené

Variace: Verze úlohy pro jinou variantu testu může být vytvořena záměnou pořadí distraktorů.

Úloha 4. Přiřazení barev vlnovým délkám a frekvencím

Zadání: Přiřaďte druh záření nebo barvu světla ke správné vlnové délce nebo frekvenci. V jednom případě není možné provést přiřazení.

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| a. červené světlo | 1. $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz |
| b. infračervené záření | 2. 580 nm |
| c. modré světlo | 3. $3,75 \cdot 10^{14}$ Hz |
| d. ultrafialové záření | 4. 100 THz |
| e. žluté světlo | 5. 800 nm |

Úloha 5. Vlastnosti optických prostředí

Zadání: Přiřaďte vlastnosti k druhu optického prostředí. V několika případech je možné přiřadit více než jednu vlastnost.

- | | |
|----------------|---|
| | 1. nedochází k rozptylu |
| | 2. prochází, ale zčásti se rozptyluje |
| a. průhledné | 3. silně pohlcuje |
| b. průsvitné | 4. na povrchu odráží |
| c. neprůhledné | 5. kdekoliv ve svém objemu má stejné vlastnosti |
| d. homogenní | 6. rychlost šíření nezávisí na směru |
| e. izotropní | 7. rychlost šíření závisí na směru |
| f. anizotropní | 8. různé polarizace se šíří různou rychlostí |

Variace: Verze úlohy pro jinou variantu testu může být vytvořena vyřazením několika pojmů v obou skupinách nebo změnou pořadí pojmů v obou skupinách.

Úloha 6. Spektrum a zdroje záření

Zadání: Přiřaďte druh záření k jeho zdroji. Některé odpovědi mohou být využity vícekrát, některé ani jednou.

- | | |
|---------------------|---|
| a. rozhlasových vln | 1. přechod elektronu mezi nižšími hladinami atomového obalu |
| b. televizní vlny | 2. magnetron |
| c. mikrovln | 3. výboj v plynech |
| d. IČ záření | 4. přechod elektronu mezi vyššími hladinami atomového obalu |
| e. UF záření | 5. radioaktivní atom |
| f. RTG záření | 6. elektrický oscilátor |
| g. gama záření | 7. rentgenka |
| | 8. rozžhavené těleso |

Úloha 7. Spektrum, zdroje a vlastnosti záření

Zadání: Do 1. sloupce doplňte do tabulky slova z 1. odstavce, do 2. odstavce doplňte tak, aby jednotlivé řádky tvořily smysluplné věty. Do 1. odstavce vybírejte možnosti z levého odstavce. Do 2. odstavce vybírejte možnosti z pravého odstavce. Některé odpovědi mohou být využity vícekrát, některé ani jednou.

		1.	2.
„Zdrojem	rozhlasových vln	_____	_____
	televizní vlny	_____	a procházejí _____
	mikrovln	_____	_____
	IČ záření	je _____	_____
	UF záření	_____	a prochází _____
	rtg záření	_____	_____
	gama záření	_____	_____

T III.5 Tabulka k úloze 7 návrhu testu.

1. odstavec

- a. přechod elektronu mezi nižšími hladinami atomového obalu
- b. magnetron
- c. výboj v plynech
- d. přechod elektronu mezi vyššími hladinami atomového obalu
- e. radioaktivní atom
- f. elektrický oscilátor
- g. rentgenka
- h. rozžhavené těleso

2. odstavec

- a. vzduchem
- b. vodou
- c. sklem
- d. betonem
- e. kovy

Úloha 8. Definice vlnoplochy

Zadání: Napište vlastními slovy definici vlnoplochy,

.....(3 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

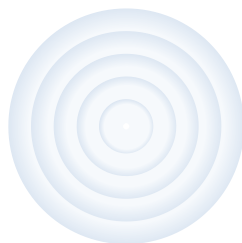
Úloha 9. Definice paprsku

Zadání: Napište vlastními slovy definici paprsku.

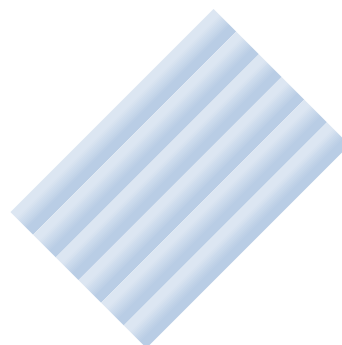
.....(3 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

Úloha 10. Vztah paprsků a vlnoplochy

Zadání: Dokreslete v obrázku paprsky k vlnoplochám.



a jedna varianta



b jiná varianta

O III.1 Nákresey k úloze 10 návrhu testu.

Variace: Verze úlohy pro jinou variantu testu může být vytvořena záměnou nákresu šíření kulové vlny za rovinnou vlnu: Dokreslete v obrázku paprsky k vlnoplochám.

Úloha 11. Šíření vlny (vlnoplochy)

Zadání: Nakreslete rovinnou vlnoplochu a do nákresu znázorněte vztah mezi vlnoplochou a paprskem.

(půl stránky pro vytvoření studentova nákresu)

Variace: Verze úlohy pro jinou variantu testu může být vytvořena záměnou šíření rovinné vlnoplochy za šíření kulové vlnoplochy: nakreslete kulovou vlnoplochu a do nákresu znázorněte...

Úloha 12. Paprsky a bodový zdroj

Zadání: Nakreslete paprsky šířící se z bodového zdroje světla a do nákresu znázorněte vztah mezi paprskem a vlnoplochou.

(půl stránky pro vytvoření studentova nákresu)

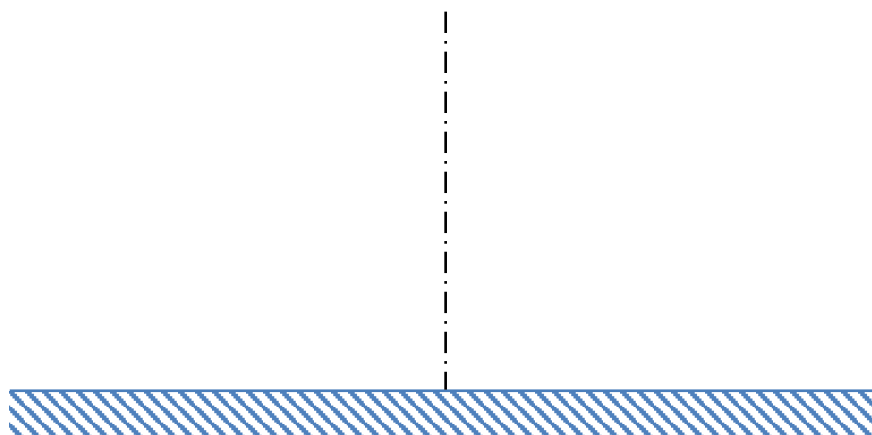
Úloha 13. Huygensův princip

Zadání: Formulujte vlastními slovy Huygensův princip.

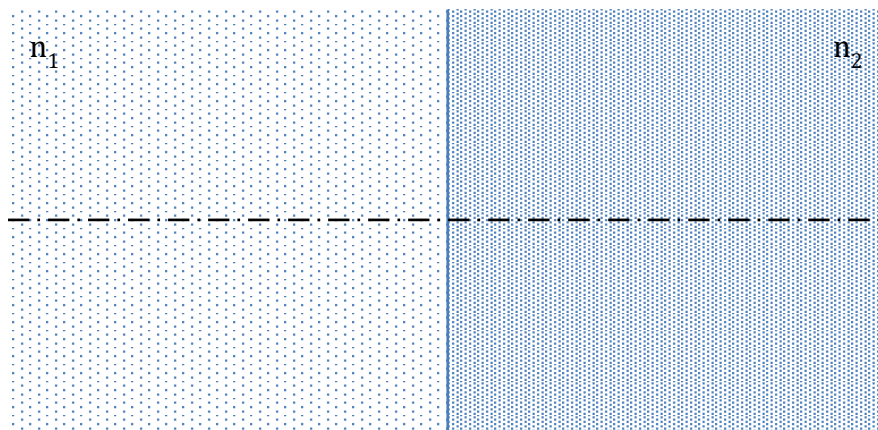
.....(4 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

Úloha 14. Zákon odrazu a lomu pomocí Huygensova principu

Zadání: Pomocí nákresu za použití Huygensova principu objasněte zákon odrazu.



a jedna varianta



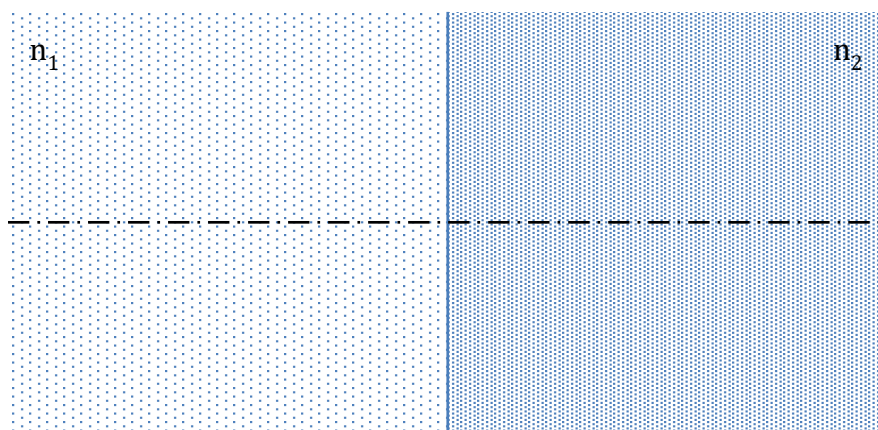
b jiná varianta

O III.2 Nákresy k úloze 14 návrhu testu.

Variace: Verze úlohy pro jinou variantu testu může být vytvořena záměnou objasnění zákona odrazu za objasnění zákona lomu: Pomocí nákresu za použití Huygensova principu objasněte zákon lomu.

Úloha 15. Ověřovací otázky

Zadání: Do obrázku znázorněte šíření paprsku z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího, vyznačte úhel dopadu a lomu. Může nastat mezní úhel? Napište, zda se jedná o lom od kolmice nebo ke kolmici.



O III.3 Nákres k úloze 15 návrhu testu.

Variace: Verze úlohy pro jinou variantu testu může být vytvořena záměnou pořadí optických prostředí při průchodu paprsku: Znázorněte šíření paprsku z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího. Může nastat mezní úhel? Napište, zda se jedná o lom od kolmice nebo ke kolmici.

Úloha 16. Možnosti průchodu vlnění rozhraním

Zadání: Při průchodu světla z opticky řidšího prostředí do prostředí opticky hustšího může dojít k

- a. totálnímu odrazu
- b. lomu od kolmice
- c. lomu ke kolmici
- d. lomu pod mezním úhlem
- e. lomu pod úhlem 90°

Úloha 17. Vlastnosti vlnění při průchodu rozhraním

Zadání: Při průchodu světla z opticky řidšího prostředí do prostředí opticky hustšího zůstává zachován(a)

- a. amplituda vlnění
- b. frekvence vlnění
- c. rychlost šíření
- d. směr šíření
- e. perioda vlnění
- f. vlnová délka vlnění

Úloha 18. Definice indexu lomu

Zadání: Část A. *Napište* definici indexu lomu

$$n =$$

kde

Úloha 19. Význam indexu lomu

Zadání: *Napište* vlastními slovy, co vyjadřuje index lomu?

.....(4 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

Úloha 20. Vyjádření indexu lomu

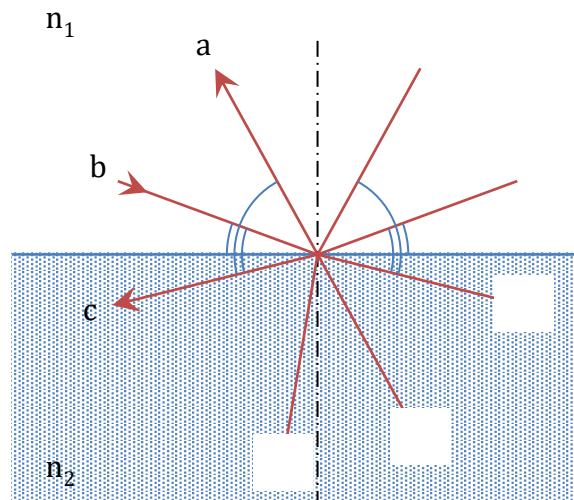
Zadání: Index lomu prostředí může být vyjádřen jako

- a. převrácená hodnota sinu mezního úhlu při lomu pod úhlem 90° na rozhraní s vakuem.
- b. převrácená hodnota sinu polarizačního úhlu při úplném odrazu na rozhraní s vakuem.

- c. poměr rychlosti světla v daném prostředí k rychlosti světla ve vakuu.
- d. poměr vlnové délky světla v daném prostředí k vlnové délce světla ve vakuu.
- e. poměr rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí.

Úloha 21. Šíření paprsků (jednodušší)

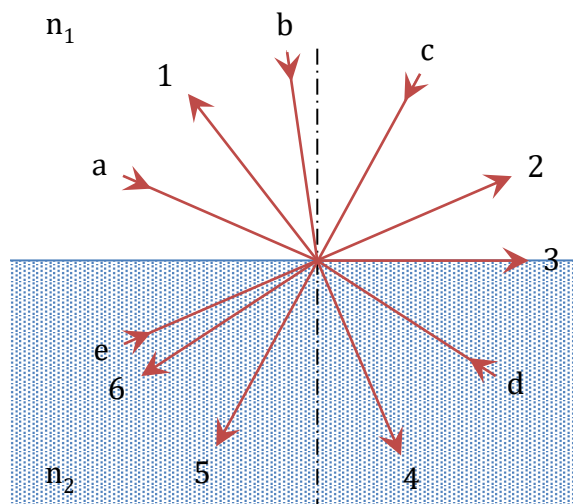
Zadání: V případě, že index lomu $n_2 > n_1$, dokreslete chybějící zakončení šipek tak, aby byly splněny zákony šíření paprsků.



O III.4 Nákres k úloze 21 návrhu testu.

Úloha 22. Šíření paprsků (složitější)

Zadání: V případě, že index lomu $n_2 < n_1$, najděte v obrázku všechny možné trajektorie šíření paprsků.



O III.5 Nákres k úloze 22 návrhu testu.

Úloha 23. Výpočet úhlu dopadu a lomu

Zadání: Paprsek se šíří ze skla o indexu lomu 1,56 do vzduchu ($n = 1,0$) a na rozhraní dopadá pod úhlem 35° . *Vypočtěte úhel lomu paprsku.* Výsledek zaokrouhlete na celé stupně. Výpočet doplňte obrázkem a slovní odpovědí.

(stránka pro zápis studentova řešení)

Variace: Verze pro opačnou variantu testu byla vytvořena záměnou úhlu dopadu za úhel lomu: Paprsek se šíří ze skla o indexu lomu 1,56 do vzduchu ($n = 1,0$) a láme se pod úhlem 35° . *Vypočtěte úhel dopadu paprsku...*

Úloha 24. Výpočet mezního úhlu

Zadání: *Vypočtěte mezní úhel* pro rozhraní kapaliny s indexem lomu 1,3 se sklem ($n = 1,5$). Výsledek zaokrouhlete na celé stupně. Výpočet doplňte obrázkem a slovní odpovědí.

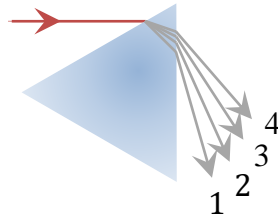
Úloha 25. Výpočet indexu lomu při lomu do rozhraní

Zadání: Paprsek se šíří neznámým prostředím k rozhraní se vzduchem. *Vypočtěte index lomu neznámého prostředí,* jestliže paprsek dopadá pod úhlem 48° a láme se do rozhraní. Výsledek zaokrouhlete na dvě platné číslice. Výpočet doplňte obrázkem a slovní odpovědí.

Úloha 26. Řazení barev hranolového spektra

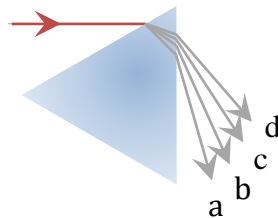
Zadání: Paprsek bílého světla se láme pomocí hranolu. K uvedeným barvám přiřaďte paprsky z obrázku.

- a. žlutá b. zelená c. fialová d. červená



O III.6 Nákres k úloze 26 návrhu testu.

Variace: Paprsek bílého světla se láme pomocí hranolu. K paprskům z obrázku přiřaďte uvedené barvy.



O III.7 Nákres k variantní úloze 26 návrhu testu.

1. žlutá 2. zelená 3. fialová 4. červená

Úloha 27. Disperzní vztah

Zadání: Doplněte, co platí pro indexy lomu pro fialové a červené světlo: $n_f \dots n_{\xi}$

- a. < b. > c. =

Úloha 28. Vznik barevného spektra pomocí hranolu

Zadání: Napište zdůvodnění, proč se barva šířící se jako paprsek 1 odchyluje nejvíce?

.....(4 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

Úloha 29. Vznik polarizovaného světla

Zadání: K polarizaci světla může dojít

- a. dvojlomem. c. odrazem od vodní hladiny.

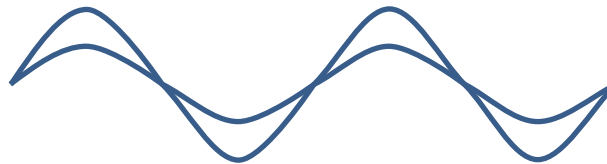
- b. v izotropním prostředí.
- d. polarimetrem.
- e. Ani jedna odpověď není správná.

Úloha 30. Výpočet indexu lomu při úplné polarizaci

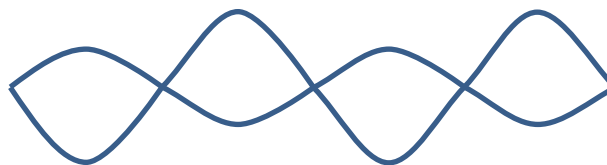
Zadání: Úhel úplné polarizace pro neprůhledný email je 58° . Jaký je index lomu emailu?

Úloha 31. Interference vlnění (produkční)

Zadání: Skládáme dvě vlnění se stejnou frekvencí. Do obrázku vyznačte interferenci vzniklé výsledné vlnění.



a jedna varianta



b jiná varianta

O III.8 Nákrezy k úloze 31 návrhu testu.

Variace: Verze pro opačnou variantu testu byla vytvořena záměnou vlnění ve fázi za vlnění s opačnou fází:

Úloha 32. Interference vlnění (doplňovací)

Zadání: Slova

- a. koherentní
- c. maximum
- e. interferenční
- b. stejnou
- d. fází
- f. opačnou

doplňte do věty, aby dávala odborný smysl:

„..... vzniká v místech, kde se
..... světelná vlnění setkávají se
....., a minimum je v místech, v nichž mají tato
vlnění fázi.“

Variace: Verze pro jinou variantu testu může být vytvořena snížením počtu doplňovaných slov a jejich přímým vložením do věty.

Úloha 33. Vlastnosti koherentních světelných vln

Zadání: Koherentní světelné vlny

- a. mají různou frekvenci.
- b. spolu mohou interferovat.
- c. mají v prostoru konstantní fázový rozdíl.
- d. se musí šířit stejným směrem.

Úloha 34. Dráhový rozdíl zdrojů interferujícího vlnění

Zadání: Čemu je roven dráhový rozdíl zdrojů interferujících vlnění, aby docházelo k zesilování vlnění?

$$\Delta l =$$

kde

Variace: Verze úlohy pro jinou variantu testu může být vytvořena záměnou podmínky zesilování za zeslabování: Čemu je roven dráhový rozdíl zdrojů interferujících vlnění, aby docházelo k zesilování vlnění...

Úloha 35. Podmínky interference (produkční)

Zadání: Uveďte podmínky pro interferenční zesílení světelného vlnění.

.....(3 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

Variace: Verze úlohy pro jinou variantu testu může být vytvořena záměnou podmínky zesilování za zeslabování: Uveďte podmínky pro interferenční zeslabení světelného vlnění.

Úloha 36. Podmínky interference (výběrová)

Zadání: V místě interferenčního maxima

- a. je splněna podmínka pro dráhový rozdíl Δl

$$\Delta l = 2k \frac{\lambda}{2},$$

kde $k = 0, 1, 2 \dots$

- b. je splněna podmínka pro dráhový rozdíl Δl

$$\Delta l = (2k - 1) \frac{\lambda}{2},$$

kde $k = 1, 2, 3 \dots$

- c. dojde k zesílení světla.

- d. je splněna podmínka pro optickou dráhu l

$$l = ns,$$

kde s je skutečná dráha.

Úloha 37. Výpočet tloušťky mydlinové blány

Zadání: Mydlinová blána ($n = 1,33$) se při kolmém dopadu světla jevila v odraženém světle oranžová ($\lambda = 620 \text{ nm}$). Určete její tloušťku

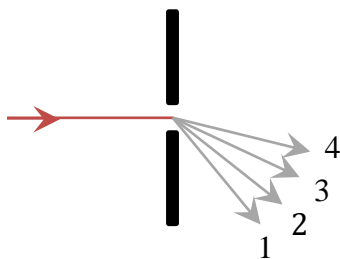
Úloha 38. Výpočet počtu vrypů optické mřížky

Zadání: Kolik vrypů na 1 mm má optická mřížka, jestliže se světlo o vlnové délce 589,6 nm ve druhém maximu odchyluje od směru kolmého k rovině mřížky o úhel $43^\circ 15'$?

Úloha 39. Řazení barev mřížkového spektra

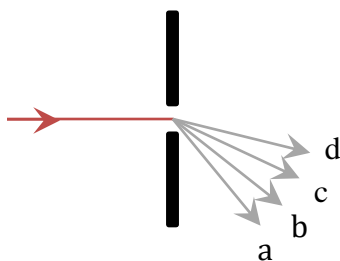
Zadání: Paprsek bílého světla se láme pomocí hranolu. K uvedeným barvám přiřad'te paprsky z obrázku.

- a. žlutá b. zelená c. fialová d. červená



O III.9 Nákres k úloze 39 návrhu testu.

Variace: Paprsek bílého světla se láme pomocí hranolu. K paprskům z obrázku přiřaďte uvedené barvy.



O III.10 Nákres k variantní úloze 39 návrhu testu.

- | | | | |
|----------|-----------|------------|------------|
| 1. žlutá | 2. zelená | 3. fialová | 4. červená |
|----------|-----------|------------|------------|

Úloha 40. Vznik barevného spektra pomocí mřížky

Zadání: Napište zdůvodnění, proč se barva šířící se jako paprsek 1 odchyluje nejvíce?

.....(4 volné řádky pro zápis studentovy odpovědi)

F VYTVOŘENÝ PROTOTYP TESTU

Konečná podoba prototypu testu. Obě varianty testu byly vytištěny oboustranně na dvou sešitých listech. Studenti zaznamenávali své odpovědi přímo do zadání testu. Zde je uvedena zmenšená fotokopie.

F.1 Varianta A

Fotokopie varianty A prototypu testu je zobrazena na obrázcích O III.11 až O III.14.

F.2 Varianta B

Fotokopie varianty A prototypu testu je zobrazena na obrázcích O III.15 až O III.18.

Jméno: třída:

Verze A

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Celkem bodů: z 52 známka:

Testi podepište. Pozorně čtěte zadání. Výběr správné odpovědi zaznamenejte zakroužkováním písmena příslušejícího k odpovědi. Přirazení proveďte grafickým propojením zvolených nabídek. V každé úloze může být správně více než jedna odpověď.

K číselným výpočtům můžete používat kalkulačky, použití jakýchkoliv jiných pomůcek (mobilních telefonů) je zakázáno!

Na vypracování testu máte k dispozici čas 40 minut.

2. Světlo vlně šíří se ve vakuu je vlnění

- a. podélné
- b. tlumené
- c. stojaté
- d. příčné
- e. postupné
- f. Ani jedna odpověď není správná.

(..... / 2 bodů)

3. Přiváděte druh záření nebo barvu světla ke správné vlnové délce. V jednom případě není možné provést přiřazení.

- a. červené světlo
- b. fialové světlo
- c. infračervené záření
- d. ultrafialové záření
- 1. 1 μm
- 2. 200 nm
- 3. 400 nm
- 4. 580 nm
- 5. 800 nm

(..... / 4 bodů)

4. A. Napište vlastními slovy definici paprsku.

B. Nakreslete paprsky šířící se z bodového zdroje světla a do nákredu znázorněte vztah mezi paprskem a vlnoplochou.

1. Rychlost světla ve vakuu je

- a. 299 792 458 km · h⁻¹
- b. 299,792 458 km · h⁻¹
- c. 299 792 458 · 10⁸ m · s⁻¹
- d. 2,997 924 58 m · s⁻¹
- e. Ani jedna odpověď není správná.

(..... / 2 bodů)

5. A. Napište vlastními slovy Huygensovův princip.

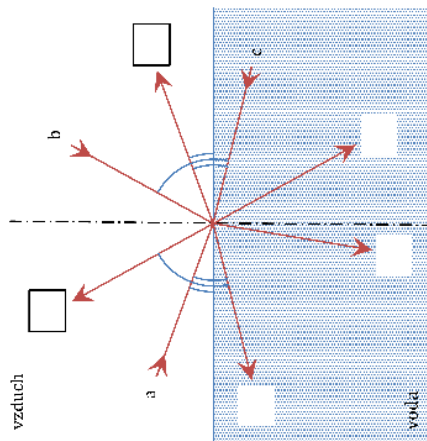
(..... / 3 bodů)

- a. frekvence vlnění
- b. rychlost šíření
- c. směr šíření
- d. perioda vlnění
- e. vlnová délka vlnění
- f. Ani jedna odpověď není správná

(..... / 3 bodů)



10. K paprskům označeným písmeny a, b, c přiřaďte neoznačené paprsky příslušnými písmeny tak, aby byly splněny zákony šíření (uvažujte lom i odraz).



(..... / 5 bodů)

11. A. Skládáme dvě vlnění se stejnou frekvencí. Do obrázku vyznačte interferenci vzniklé výsledné vlnění.

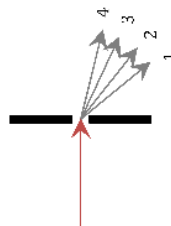
- B. Čemu je roven dráhový rozdíl zdrojů interferujících vlnění, aby docházelo k zeslabování vlnění?

$\Delta l =$

kde

(..... / 3 bodů)

12. A. Paprsek bílého světla se ohýbá na mřížce. K paprskům z obrázku přiřaďte uvedené barvy.



- a. červená
- b. fialová
- c. modrá
- d. zelená

- B. Napíšte zdůvodnění, proč se barva šířící se jako paprsek 1 odchyluje nejvíce?

.....

(..... / 5 bodů)

- 1.3. Průřezek se šíří ze skla o indexu lomu 1,56 do vzduchu ($n = 1,0$) a na rozhraní dopadá pod úhlem 35° . Vypočítejte úhel lomu paprsku. Výsledek zaokrouhlete na celé stupně. Výpočet doplňte obrázkem a slovní odpovědí.
- 1.4. Vypočítejte mezní úhel pro rozhraní kapaliny s indexem lomu 1,3 se vzduchem ($n = 1,0$). Výsledek zaokrouhlete na celé stupně. Výpočet doplňte obrázkem a slovní odpovědí.

(..... / 5 bodů)

4

(..... / 5 bodů)

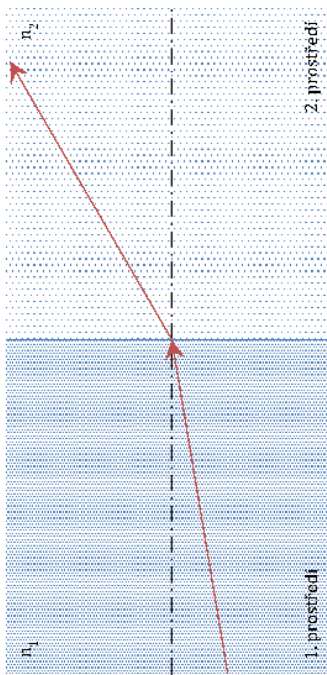
O III.14 Fotokopie poslední strany testu varianty A.

5. A. Napište vlastními slovy Huygensův princip.

.....

B. Pomocí Huygensova principu znázorníte šíření kulové vlny.

7. A. Do obrázku vyznačte úhel dopadu a úhel lomu.



B. Jedná se o lom od kolmice nebo ke kolmici?

C. Jaká nerovnost platí mezi hodnotami indexu lomu prostředí? $n_1 \dots n_2$

D. Závěsí úhel lomu na frekvenci?

E. Čím je určena rovina dopadu?

(..... / 4 bodů)

6. A. Napište definici indexu lomu

$$n =$$

kde

B. Napište vlastními slovy, co vyjadřuje index lomu?

.....

(..... / 3 bodů)

8. Při průchodu světla z opticky řidšího prostředí do prostředí opticky hustšího může dojít

- a. totálnímu odrazu
- b. lomu od kolmice
- c. lomu ke kolmici
- d. lomu pod mezním úhlem
- e. lomu pod úhlem 90°
- f. Ani jedna odpověď není správná

(..... / 3 bodů)

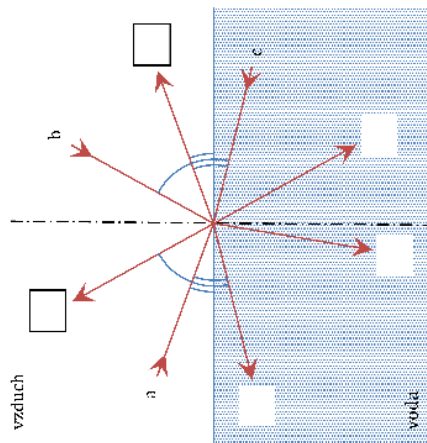
9. Při šikmém průchodu světla z opticky hustšího prostředí do prostředí opticky řidšího se zachovává

- a. frekvence vlnění
- b. rychlost šíření
- c. směr šíření
- d. perioda vlnění
- e. vlnová délka vlnění

f. Ani jedna odpověď není správná

(..... / 3 bodů)

10. K paprskům označeným písmeny a, b, c přiřaďte neoznačené paprsky příslušnými písmeny tak, aby byly splněny zákony šíření (uvažujte lom i odraz).



(..... / 5 bodů)

11. A. Skládáme dvě vlnění se stejnou frekvencí. Do obrázku vyznačte interferenci vzniklé výsledné vlnění.



B. Čemu je roven dráhový rozdíl zdrojů interferujících vlnění, aby docházelo k zesilování vlnění?

$\Delta l =$

kde

(..... / 3 bodů)

12. A. Paprsek bílého světla se láme pomocí hranolu. K paprskům z obrázku přiřaďte uvedené barvy.



B. Napište zdůvodnění, proč se barva šířící se jako paprsek 1 odchyluje nejvíce?

.....

(..... / 5 bodů)

- 1.3. Paprsek se šíří ze skla o indexu lomu 1,56 do vzduchu ($n = 1,0$) a láme se pod úhlem 35° .
Vypočítejte úhel dopadu paprsku. Výsledek zaokrouhlete na celé stupně. Výpočet doplňte
obrázkem a slovní odpovědí.
- 1.4. Paprsek se šíří neznámým prostředím k rozhraní se vzduchem. Vypočítejte index lomu
neznámého prostředí, jestliže paprsek dopadá pod úhlem 48° a láme se do rozhraní.
Výsledek zaokrouhlete na dvě platné číslice. Výpočet doplňte obrázkem a slovní odpovědí.

(..... / 5 bodů)

(..... / 5 bodů)

4

O III.18 Fotokopie poslední strany testu varianty B.

G TABULKY SPRÁVNÝCH ODPOVĚDÍ

Pro zjednodušení vyhodnocování prototypu testu byly vytvořeny klíče správných odpovědí.

Varianta A

Klíč pro variantu A prototypu testu je uveden v tabulce T III.6.

Úloha	odpověď						slovní
	písmeno						
	a	b	c	d	e	f	
1					x	-	
2				x	x		
3	5	3	1	2		-	
4							
5							
6							$\frac{c}{v}$
7							ke kolmici <
8	x	x			x		ano
9		x	x		x		
10	2	1	1	2	3	-	
11							$(2k + 1) \frac{\lambda}{2}$
12	1	4	3	2		-	
13							63°
14							50°

T III.6 Klíč správných odpovědí používaný při vyhodnocování testu varianty A.

Varianta B

Klíč pro variantu B prototypu testu je v tabulce T III.7.

Úloha	odpověď						slovní
	písmeno						
	a	b	c	d	e	f	
1					x	-	
2		x	x				
3	2	4	1	0	3	-	
4							
5							
6							$\frac{c}{v}$
7							od kolnice > ano
8			x	x			
9	x			x			
10	2	1	1	2	3	-	
11							$2k\frac{\lambda}{2}$
12	2	3	4	1		-	
13							22°
14							1,35

T III.7 Klíč správných odpovědí používaný při vyhodnocování testu varianty B.

LITERATURA

- [1] P. BYČKOVSKÝ, Základy měření výsledků výuky, Praha: České vysoké učení technické, 1983.
- [2] E. SVOBODA, V. BEČKOVÁ a J. ŠVERCL, Kapitoly z didaktiky odborných předmětů, Praha: České vysoké učení technické, 2004.
- [3] Z. PŮLPÁN, Základy sestavování a klasického vyhodnocování didaktických testů, Hradec Králové: Kotva, 1991.
- [4] M. CHRÁSKA, Didaktické testy: příručka pro učitele a studenty učitelství, Edice pedagogické literatury editor, Brno: Paido. Edice pedagogické literatury, 1999.
- [5] J. SLAVÍK, Hodnocení v současné škole: východiska a nové metody pro praxi, Pedagogická praxe editor, Praha: Portál, 1999.
- [6] J. SKALKOVÁ, Obecná didaktika: vyučovací proces, učivo a jeho výběr, metody, organizační formy vyučování, Pedagogika editor, Praha: Grada, 2007.
- [7] D. VANĚČEK, E. SVOBODA, D. DOBROVSKÁ, T. KOZÍK, J. DUCHOVIČOVÁ a I. ŠVARCOVÁ, Didaktika technických odborných předmětů, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016.
- [8] O. JEŘÁBEK a M. BÍLEK, Teorie a praxe tvorby didaktických testů, Olomouc: Univerzita Palackého, 2010.
- [9] T. LAVICKÝ, Tvorba a vyhodnotenie školského testu, Bratislava: Metodicko-pedagogické centrum, 2014.
- [10] Národní ústav pro vzdělávání, „Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání 26-41-M/01 Elektrotechnika,“ 2007.

- [11] Národní ústav pro vzdělávání, „Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání 18-20-M/01 Informační technologie,“ 2008.
- [12] J. SKALKOVÁ, Obecná didaktika, Pedagogika editor, Praha: ISV, 1999.
- [13] M. BABINSKÝ, „Didaktické testy E-learningu a ich vyhodnotenie,“ Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016.
- [14] B. E. A. SALEH and M. C. TEICH, Fundamentals of photonics, New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [15] P. FIALA a I. RICHTER, Fyzikální optika, Vyd. 2., přeprac. editor, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.
- [16] Střední průmyslová škola elektrotechnická Ječná, „Školní vzdělávací program Elektrotechnika,“ Praha, 2014.
- [17] O. LEPIL, M. BEDNAŘÍK a R. HÝBLOVÁ, Fyzika pro střední školy II. 4., přeprac. vyd., Praha: Prometheus, 2012.
- [18] Střední průmyslová škola elektrotechnická Ječná, „Školní vzdělávací program Informační technologie,“ Praha, 2014.
- [19] V. HRABAL, Testy a testování ve škole, Praha: Univerzita Karlova, 1994.
- [20] Střední průmyslová škola elektrotechnická Ječná, „Učební plány studijních oborů SPŠE Praha 2, Ječná 30,“ Praha, 2014.
- [21] Národní ústav pro vzdělávání, „Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání 26-45-M/01 Telekomunikace,“ 2007.