



# **BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## **FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION**

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

## **DEPARTMENT OF FOREIGN LANGUAGES**

ÚSTAV JAZYKŮ

## **COMMENTED TRANSLATION OF A TEXT ON SCIENCE AND TECHNOLOGY**

KOMENTOVANÝ PŘEKLAD ODBORNÉHO TEXTU

### **BACHELOR'S THESIS**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

### **AUTHOR**

AUTOR PRÁCE

**Matěj Heger**

### **SUPERVISOR**

VEDOUCÍ PRÁCE

**Mgr. Petra Zmrzlá, Ph.D.**

**BRNO 2020**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Angličtina v elektrotechnice a informatice**

Ústav jazyků

**Student:** Matěj Heger

**ID:** 195232

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

**NÁZEV TÉMATU:**

## Komentovaný překlad odborného textu

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Ve vlastním překladu patnácti stran odborného textu s elektrotechnickým zaměřením proveďte analýzu rozdílů a shody ve vyjádření odborné informace v obou jazycích.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Krhutová Milena: Parameters of Professional Discourse, Tribun EU, 2009,

Knittlová Dagmar: Překlad a překládání, Olomouc, 2015

Krhutová Milena: The language of electrical engineering as a special province, CERM, Brno, 2007

**Termín zadání:** 31.1.2020

**Termín odevzdání:** 12.6.2020

**Vedoucí práce:** Mgr. Petra Zmrzlá, Ph.D.

**doc. PhDr. Milena Krhutová, Ph.D.**  
předseda oborové rady

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zaměřuje především na překlad odborného textu s důrazem na použitou terminologii. Vybraný text pojednává o problematice mikrovln a jejich zpracování v počítačových systémech. Práce sestává z dvou stěžejních částí, přičemž první se soustřeďuje na výše zmíněný překlad odborného textu a druhá se věnuje jeho podrobné jazykové analýze. Analytický rámec zahrnuje všechny důležité jazykovědné disciplíny a předkládá výňatky přímo z textu. Tyto výňatky jsou následně porovnávány a postupně je ověřována správnost použitých jazykových prostředků pomocí citací z kvalitních zdrojů a slovníků.

## **Klíčová slova**

vlna, diskretizace, text, analýza

## **Abstract**

The main aim of the bachelor thesis is mainly the translation of the professional text with the emphasis on the used terminology. The chosen text is about microwaves and processing of these waves using computer systems. The paper consists of two principal parts: the first one focuses on above mentioned translation whereas the second one is dedicated to the detailed linguistic analysis. The analytical framework covers all important linguistic disciplines and presents excerpts directly from the text. These excerpts are then compared, and the correctness of the language features usage is gradually verified using citations from quality resources and dictionaries.

## **Key words**

wave, discretization, text, analysis

HEGER, Matěj. *Komentovaný překlad odborného textu*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127194>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav jazyků. Vedoucí práce Mgr. Petra Zmrzlá, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Hereby, I would like to thank my supervisor Mgr. Petra Zmrzlá, Ph.D. for useful advice, motivation and support with my bachelor thesis. I would like to thank also Ing. Miroslav Cupal, a postgraduate student under the leadership of below mentioned prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, for providing me with the textbook as it serves as the main basis of my translation.

# Contents

List of tables .....	iii
List of figures .....	iv
1. Introduction .....	11
2. Translation.....	12
3. Analysis.....	28
3.1. Analysis introduction .....	28
3.1.1. General description .....	28
3.1.2. Situational context.....	28
3.1.3. Theories and previous studies .....	29
3.1.4. Goals and hypotheses .....	31
3.2. Lexical level .....	32
3.2.1. Vocabulary specification.....	32
3.2.2. Vocabulary layers.....	33
3.2.3. Lexical density .....	33
3.2.4. Lexical level analysis conclusion .....	34
3.3. Grammatical level .....	35
3.3.1. Sentence complexity .....	35
3.3.2. Sentence types .....	36
3.3.3. Emphatic structures .....	36
3.3.4. Grammatical markers of formality .....	37
3.3.5. Grammatical level analysis conclusion .....	38
3.4. Semantic level .....	39
3.4.1. Text explicitness & figurative means .....	39
3.4.2. Symbols.....	39
3.4.3. Sense relations.....	40
3.4.4. Semantic level analysis conclusion .....	42
3.5. Discourse level .....	43
3.5.1. Cohesion & discourse markers.....	43
3.5.2. Intertextuality .....	46
3.5.3. Discourse level analysis conclusion .....	48
4. Conclusion.....	49
5. Rozšířený abstrakt .....	50
6. List of references .....	53

6.1. Online references.....	53
7. Original text .....	55



## List of tables

Table 1: Some rhetorical devices used in academic articles to persuade the reader of validity of the argument (Hartley 2008: 9).....	30
Table 2: Top 30 nouns, top 15 verbs and adjectives, and top 5 adverbs from the AVL organized by lemma (Olohan 2016: 147) .....	31
Table 3: Parts of speech .....	33

## List of figures

Figure 1: The Fry readability graph .....	35
---	----

# 1. Introduction

It is commonly known that the English language holds the position of an international communication tool, mainly in the fields in science and technology. This fact directly confirms that it is vital for engineers to be at least partly acquainted with this language since the majority of texts and most study materials are presented in this language. The position of this *lingua franca* also supports the idea of international cooperation among the engineers and scientists which is an indisputable advantage. An inherent part of this system would definitely be the correct translation of various technical and scientific texts as they serve as study materials and foundations for the next generation of students and other interested groups.

This thesis provides a translation of technical text with all of its requisites. The text chosen for the translation is an excerpt from the textbook called *CAD v mikrovlnné technice* which is an advanced level textbook written completely in the Czech language by prof. Zbyněk Raida Dr. Ing. An abbreviation in its name, CAD – Computer Aided Design, already provided a hint on the textbook topic. The scope of this textbook is the software utilisation in designing the microwave lines, circuits and antennas. It uses a wide range of specialised terminology as well as genre specific features which need to be precisely translated in order to be comprehensive for foreign readers.

As it was already mentioned, the paper, in its first part, focuses on a correct translation with emphasis on the relevant terminology and proper usage of translation techniques. In its second part, however, there can be found a complete genre analysis from a variety of linguistic viewpoints. The analytical framework relies on fixed linguistic approaches and disciplines such as lexicology, syntax (grammatical level), semantics and pragmatics (discourse level). Each discipline has its own chapter which focuses on a subset of relevant stylistic features. The individual chapters and corresponding subchapters provide examples taken directly from the translation. The analysis reveals and exemplifies the instances of referenced phenomena continuously.

It can be said that the analytical part prehension relies on one key source – Academic Writing and Publishing written by James Hartley. Provided genre definition and discussion further serve as major milestones that are searched in the translated text and analysed. Thanks to Hartley's publication, the analysis has rather a diverse character and, therefore, there is a need for a range of quality resources employment in order to provide as much objective information as possible. Each chapter then references major works in its given branch. The information gathered is then evaluated and exemplified.

Correctly translated textbook supported with a genre analysis majorly aimed on its successfulness and correct use of language features could serve as a suitable study material for future foreign students.

## 2. Translation

### 2.3 Test structures

When the algorithm of the numerical solution of Maxwell equations is developed, it is suitable to verify the functionality of the algorithm by the analysis of a structure with a solution already known. The test structure should be as simple as possible, so that the possible errors in algorithm can be identified.

An infinitely long rectangular cylinder shown in fig 2.6 will be used in this textbook for testing the numerical methods.

- Back and front walls of the test structure behave as an *open space*. If the test structure is used as a waveguide, the uninterrupted wave propagates in the direction of the axis. Thus, the amplitude of the field strength in  $z$  direction is invariant.

In between the walls, the standing waves are created by compounding the reflections of waves. Thus, the amplitude of the field intensity is dependent on the transverse coordinates  $x$  and  $y$ . If all the walls are perfectly electrically conductive, the longitudinal component of the electrical field must be equal to zero  $E_z = 0$ .

- If the upper and lower walls of the test structure are set (yellow plates) to the boundary condition of the open space, a set of two parallel infinitely wide planar surfaces (grey plates) is created. In the electrostatic case, such a structure can be understood as a plate capacitor consisting of endless electrodes.

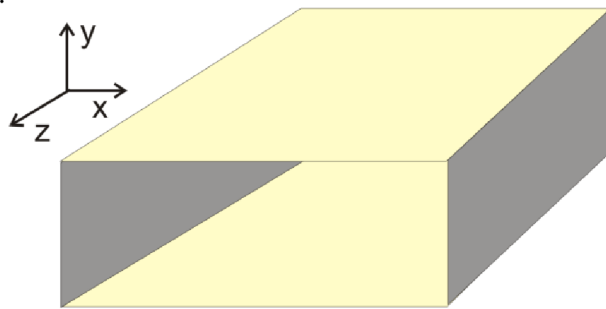


Fig. 2.6 Test structure for verification of functionality of the algorithms of numerical solution of Maxwell equations in differential form.

Considering the propagation of the wave in direction  $z$ , the system of endless coordinate plates is called parallel plate waveguide. Standing waves are created only in between the grey plates in this waveguide. Because of yellow plates and open space replacement, there is no possibility of creation or composing of reflected waves in the  $y$  direction.

#### 2.3.1 Electrostatic problem

Firstly, the electrostatic testing problem will be examined. Electrostatic field is formed by charges whose magnitude and position are time invariant. Thus, in Maxwell equations, all the derivatives are equal to zero.

Electric component of the field is described by Maxwell equations (2.11) and (2.12). Let us consider the magnetic induction equal to zero (magnetic field is excited by the motion of electrons which is prohibited.) After that, it is possible to rewrite the equation (2.11) accordingly as

$$\mathbf{0} = \nabla \times \mathbf{E} = \nabla \times (-\nabla \varphi) \quad (2.24)$$

During the derivation of (2.24), the fact that the rotation of the gradient of arbitrary scalar function is identically equal to zero, is exploited. Supposing

$$\mathbf{E} = -\nabla\varphi \quad (2.25)$$

the Maxwell equation is fulfilled identically, and the spatial layout of the electric field is characterised by only one scalar quantity  $\varphi$  (electric potential).

Let us consider a substitution of the electric potential (2.25) into a formula (2.12)

$$\nabla \cdot (\varepsilon \mathbf{E}) = \varepsilon \nabla \cdot \mathbf{E} = \varepsilon \nabla \cdot (-\nabla \varphi) = -\varepsilon \nabla^2 \varphi = \rho \quad (2.26)$$

where  $\rho$  is the volume density of the free charge in analysed domain and  $\varepsilon$  is the permittivity of this domain. For the derivation given in (2.26), it was assumed that the permittivity  $\varepsilon$  is the same in all the analysed domains. After that, the constant  $\varepsilon$  can be placed before the derivative which is represented by the operator  $\nabla$ .

In Cartesian coordinate system, the (2.26) can be rewritten into the form

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon} \quad (2.27)$$

If the test structure consists only of two parallel infinitely large electrodes (the grey walls in fig. 2.6), the potential  $\varphi$  changes only in the direction  $x$  and (2.27) is changed into the form

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon} \quad (2.28)$$

When verifying the functionality of the numerical methods of partial differential equations describing the electrostatic problem, it will be proceeded from relations (2.27) and (2.28).

### 2.3.2 Dynamic problem

Now, let it be assumed that the electromagnetic quantities are harmonically varying. Time variability of these quantities can be described by rotating the phasors  $\mathbf{E}(\mathbf{r})$  and  $\mathbf{H}(\mathbf{r})$  in the complex plane.

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}(\mathbf{r}) \exp(j\omega t) \quad (2.29a)$$

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{H}(\mathbf{r}) \exp(j\omega t) \quad (2.29b)$$

The phasors  $\mathbf{E}(\mathbf{r})$  and  $\mathbf{H}(\mathbf{r})$  carry the intensities amplitude information at  $\mathbf{r} = \mathbf{r}(x, y, z)$  and the initial phase of the intensities at time  $t = t_0$ . The time variability of intensities is represented by the variable  $\exp(j\omega t)$ . This variable is a complex function. Magnitude of this variable is unitary and the phase  $\omega t = (2\pi/T)t$  is changed over the period  $T$  by  $2\pi$  radians (fig. 2.7).

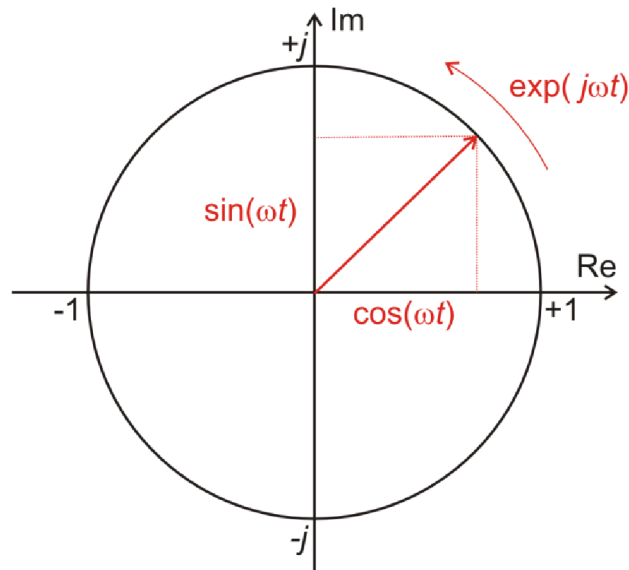


Fig. 2.7 Representation of the harmonic variability of the field intensities by rotation of the phasor in a complex plane.

Firstly, focusing on the propagation of flat electromagnetic waves through open space:

- A planar wave has a planar waveform (a surface with the same phase).
- The waveform is perpendicular to the direction of wave propagation.
- The electric field intensity vector  $\mathbf{E}$  and the magnetic field intensity vector  $\mathbf{H}$  are perpendicular to the direction of wave propagation and perpendicular to each other.
- In the direction of propagation, the planar wave changes only its phase; in open space and in the direction of propagation, the amplitude is constant.

The waveform is presupposed to lie in  $xy$  plane and the wave propagates in the direction of the  $z$  axis of Cartesian coordinate system. Considering the harmonic field source which generates a wave of angular frequency  $\omega$ , the instantaneous values of fields  $\mathbf{E}(x, y, z, t)$  and  $\mathbf{H}(x, y, z, t)$  become the harmonic functions of time  $\exp(j\omega t)$  and the harmonic functions of spatial coordinate in the direction of propagation  $\exp(-jkz)$ . While the angular frequency expresses the phase change over a time unit  $\omega = 2\pi / T$ , the wave number expresses the change of the phase on the length unit  $k = 2\pi / \lambda$ :

- The symbol  $T$  is the period of a harmonic signal. Phase of the signal is changed by  $2\pi$  radians over the period.
- The symbol  $\lambda$  represents the wavelength (spatial signal period). In the case of wavelength, the phase of signal is changed by  $2\pi$  radians over the period as well.

Instantaneous value of the field intensity can be expressed by relationship

$$\mathbf{E}(x, y, z, t) = \mathbf{E}(x, y) \exp[j(\omega t - kz)] \quad (2.30)$$

In the numerical modelling of wave propagation, the great distance from waves is assumed. In wave propagation, the time change of the electrical component of the field is relative to the spatial change of the magnetic field

$$\nabla \times \mathbf{H} = \gamma \mathbf{E} + j\omega \varepsilon \mathbf{E} \quad (2.31)$$

and the time change of the field magnetic component is relative to the spatial change of electric field.

$$\nabla \times \mathbf{E} = -j\omega \mu \mathbf{H} \quad (2.32)$$

Since the analysis is realized in the domain outside the sources influence, it is not necessary to include the third and fourth Maxwell equation – (2.12) and (2.13) in the problem solution. Nevertheless, the calculated value of the electromagnetic field must be suitable for these equations. Because (2.12) and (2.13) describe zero divergence of the vector of the electric induction  $\mathbf{D}$  (zero value of spatial density of electric charge  $\rho$  is conditional), and zero divergence of the vector of the magnetic induction  $\mathbf{B}$ , so called *divergence-free conditions* are met.

Since  $\mathbf{E}$  and  $\mathbf{H}$  are phasors, the time derivative in the composition of (2.31) and (2.32) can be substituted by multiplication of the variable  $-j\omega$  where  $\omega$  represents angular frequency. The variables of the vectors of the electric and magnetic induction were substituted from material relationships  $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$  and  $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ . The variable of the planar density of conductive current  $\mathbf{J}$  was substituted from Ohm's law in differential form.

$$\mathbf{J} = \gamma \mathbf{E} \quad (2.33)$$

where  $\gamma$  [S/m] represents the specific conductivity of the environment.

Vector equations (2.31) and (2.32) can be rewritten into six scalar equations with six variables  $E_x, E_y, E_z, H_x, H_y$  and  $H_z$ . To reduce the number of equations and the number of variables, the rotation operator is applied on both sides of the equation (2.31).

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = (\gamma + j\omega \varepsilon) (\nabla \times \mathbf{E}) \quad (2.34)$$

for the rotation of the electric field on the right side of the (2.34) equation, (2.32) is substituted

$$\nabla \cdot (\nabla \cdot \mathbf{H}) - \nabla^2 \mathbf{H} = -j\omega \mu (\gamma + j\omega \varepsilon) \mathbf{H} \quad (2.35)$$

Left side of the equation (2.35) is then decomposed according to the identity

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = \nabla \cdot (\nabla \cdot \mathbf{H}) - \nabla^2 \mathbf{H}$$

Because of the zero value of the vector divergence of the magnetic induction according to the fourth Maxwell equation (2.13), the first variable on the left side (2.35) has the zero value as well. Therefore, (2.35) become into the shape of a wave equation.

$$\nabla^2 \mathbf{H} + k^2 \mathbf{H} = \mathbf{0} \quad (2.36)$$

where

$$k^2 = -j\omega \mu (\gamma + j\omega \varepsilon) \quad (2.37)$$

is the wave number.

Now proceed from the wave propagation in open space to the propagation in the waveguide. As it was mentioned before, wave propagation in the direction of waveguide axis can be understood as a result of composing the waves that are reflected from the walls of the waveguide. (fig. 2.8)

In the waveguide, the following types of waves can be transmitted: transverse electric waves (TE) or transverse magnetic waves (TM).

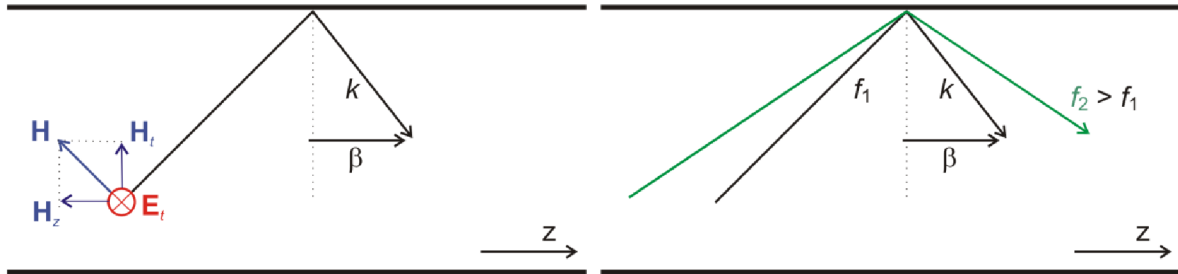


Fig. 2.8 Wave propagation in the waveguide: transverse electric wave (left), change of the angle when changing the wave frequency (right).

The transverse electric wave is depicted in fig. 2.8 on the left side. The planar wave reflecting from the waveguide walls has a component of the intensity of the electric field parallel to the reflection wall. Thus, the longitudinal component of the electric field is equal to zero  $E_z = 0$ . The component of intensity of the magnetic field must be perpendicular to the component of the electric field and to the direction of the propagation. Therefore, the vector of the magnetic field intensity can be decomposed into the transverse component  $H_t$  and the longitudinal component  $H_z$ . It can be shown that the transverse electric wave is conclusively described using the longitudinal component of the magnetic field  $H_z$ .

The transverse magnetic wave would be obtained by the commutation of the electric and magnetic fields intensity in fig 2.8 on the left side. Transverse magnetic wave is conclusively described using the longitudinal component of the electric field intensity  $E_z$ .

The electromagnetic wave propagation constant in the longitudinal axis direction of the waveguide is denoted by the symbol  $\beta$  [rad / m]. Constant  $\beta$  determines the phase change of a wave per meter of length along the longitudinal axis of the waveguide. Therefore, this is the projection of the wave vector  $\mathbf{k}$  up to the direction of the waveguide longitudinal axis. Wave vector has a magnitude of the planar wave wavenumber and its direction is identical with the direction of the planar wave propagation.

Thus, longitudinal component of the magnetic field intensity for waveguide can be expressed as follows:

$$H_z(x, y, z, t) = H_z(x, y) \exp[-j\beta z] \quad (2.38)$$

After substitution of (2.38) into the wave equation (2.36):

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial y^2} + (k^2 - \beta^2) H_z = 0 \quad (2.39)$$

The lower the frequency of the wave is (fig. 2.8 right), the lower the impact angle of the wave on the waveguide wall is. The constant of the planar wave propagation  $k$  remains unchanged and the constant of the wave propagation in the direction of the longitudinal waveguide axis  $\beta$  decreases. If the critical frequency is reached, the wave impacts on the waveguide wall perpendicularly and the propagation constant in the direction of the longitudinal axis is equal to zero.

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial y^2} + k_{cr}^2 H_z = 0 \quad (2.40)$$

If the critical frequency number expression is assumed as



$$k_{kr} = \frac{2\pi}{\lambda_{kr}} = \frac{2\pi}{c} f_{kr} \quad (2.41)$$

then the critical waveguide frequency can be determined from the (2.40). In the relationship (2.41),  $c$  expresses the speed of light in open space with vacuum parameters.

Problem (2.40) is also called proper number problem. The solution of (2.40) equation is to be searched in the form of ordered pairs  $[k_{kr}, H_z]$ . It means that the corresponding field layout needs to be found for each critical wavenumber. The arranged pairs correspond to the aspects that can propagate in the waveguide. Each aspect is characterised by different critical number and different field layout.

In the calculation procedure of transverse magnetic aspects propagating the waveguide, the needs to be changed for

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + k_{kr}^2 E_z = \mathbf{0} \quad (2.42)$$

The equation (2.42) is formally identical to (2.40). However, the difference is in marginal conditions. If the walls of the waveguide are perfectly electrically conductive, the  $H_z$  on the waveguide casing must meet the Neumann condition and  $E_z$  must meet the Dirichlet condition.

If the layout of the longitudinal components in transverse waveguide cross section is known, the transverse components can be intuitively calculated. In the case of transverse electric aspect, the relationship (2.31) is decomposed into transverse component electric field intensities  $E_x$  and  $E_y$ .

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = \gamma E_x + j\omega\epsilon E_x \quad (2.43a)$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = \gamma E_y + j\omega\epsilon E_y \quad (2.43b)$$

If the lossless environment in the waveguide is assumed, the free charge volume density  $\gamma$  is equal to zero. Then, the uninterrupted harmonic wave propagates in the direction of  $y$  axis and therefore, the magnetic field intensity component derivative by  $z$  is equal to zero. Thus:

$$E_x \approx \frac{\partial H_z}{\partial y} \quad (2.44a)$$

$$E_y \approx \frac{\partial H_z}{\partial x} \quad (2.44b)$$

For transverse components of magnetic field:

$$H_x \approx \frac{\partial H_z}{\partial x} \quad (2.44c)$$

$$H_y \approx \frac{\partial H_z}{\partial y} \quad (2.44d)$$

An analogous procedure can be applied to the calculation of the transverse components of the transverse magnetic aspect. The result is

$$H_x \approx \frac{\partial E_z}{\partial y} \quad (2.45a)$$

$$H_y \approx \frac{\partial E_z}{\partial x} \quad (2.45b)$$

$$E_x \approx \frac{\partial E_z}{\partial x} \quad (2.45c)$$

$$E_y \approx \frac{\partial E_z}{\partial y} \quad (2.45d)$$

Hereby, the wave inside the waveguide is described completely.

## 2.4 Summary

In this chapter, the elementary principles on which Maxwell equations are based were briefly revised. After that, these equations were used for description of the electrostatic and dynamic testing structure. Both structures will be used for functionality and accuracy verification of the numerical methods of Maxwell equations solution in the following chapters.

### 3 Numerical solution of Maxwell equations

Analytical solution of Maxwell equations is only suitable for very simple structures e.g. endless waveguide with rectangular or circular cross section. In case of more complicated structures, the numerical solution of Maxwell equations is needed.

The aim of the following paragraphs will be the numerical solution of Maxwell equations in differential form. The numerical solution of integral equations is much more complicated.

The basic steps which the numerical analysis is based on will be explained below.

#### 3.1 Discretization of the analysis structure

The analysed structure is divided into discretization elements that do not overlap each other. Discretization elements must include all the points of the analysed structure at the same time.

In case of longitudinally homogenous finning line, the covering of the whole cross section of the whole analysed structure by discretization network is needed. Therefore, discretization elements are two-dimensional (triangles). If the attributes of the line are invariant in longitudinal direction, it is denoted as longitudinally homogenous (the line is endless in length and each transversal cross section is the same).

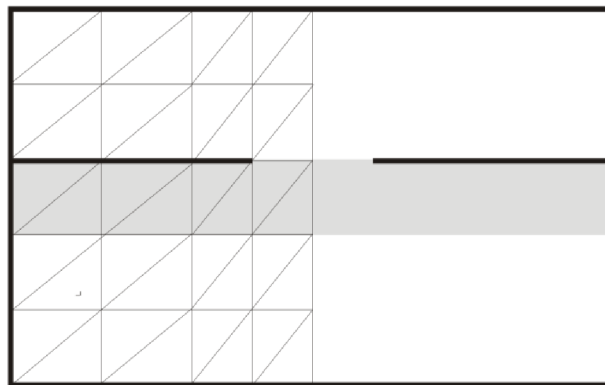


Fig. 3.1 Cross section and discretization of the finning line by rectangular elements.

There are contradictory requirements on the discretization network. Assuming the highest accuracy of the analysis results is demanded, the discretization network needs to be very thin. Nevertheless, this thin network consists of numerous discretization elements, and therefore has high calculation requirements. Hence it is profitable to use all the analysed structure symmetries and to calculate only its part at once [3.3].

Considering the mentioned contradictory requirements, the suitable structure discretization is relatively difficult. The development of automatic generators of the discretization networks is essential discipline in the field of numerical modelling of the microwave structures.

The so-called Delaunay discretization [3.15], [3.16] is often used for generating discretization networks in two- and three-dimensional structures. In case of two-dimensional structures, Delaunay triangularization is used.

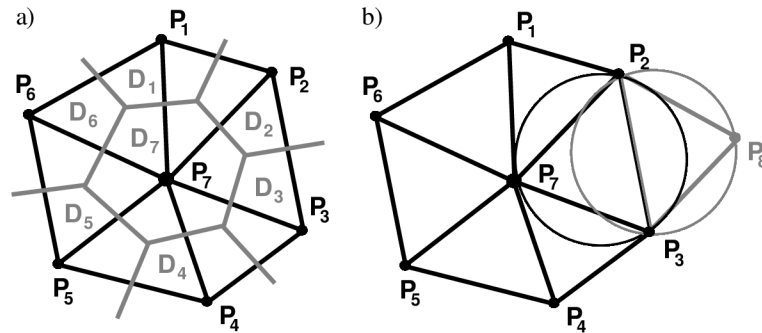


Fig. 3.2 Delaunay triangularization attributes: a) Dirichlet discretization network (grey) and Delaunay discretization network (black), b) the circumscribed circles do not contain any P point.

The purpose of triangularization is to cover the area in which a certain number of P points is given, with non-overlapping triangles whose vertices lie at the given points P and whose area covers the entire discretized space. This can be achieved in many ways. Delaunay triangularization excels because of the following specific attributes: [3.16]:

- The edges of the Delaunay triangles connect points  $P_i$  and  $P_j$ , which belong to the adjacent discretization elements of  $D_i$  and  $D_j$  Dirichlet's discretization<sup>1</sup>. As it is shown in Figure 3.2a, the edges of the Delaunay triangles always intersect the common boundary of a pair of adjacent Dirichlet discretization elements.
- None of the P points are within a circle circumscribed by any Delaunay element of the discretization network. As it can be seen in fig. 3.2b, the circle circumscribed by Delaunay triangle  $P_2 P_3 P_7$  does not include any of the adjacent points  $P_1, P_4, P_8$  and furthermore, circle circumscribed by Delaunay triangle  $P_2 P_3 P_8$  does not include any of the adjacent points  $P_1, P_4, P_7$ .
- The smallest angles of the Delaunay triangle are the biggest in comparison with the smallest angles of all the other possible triangularizations (obtainment of very well shaped elements without very sharp angles).

When generating the Delaunay network, one out of three following approaches is often used:

- **Bowyer-Watson algorithm.** An algorithm based on the existing coarse Delaunay network in which the next points are inserted. In the case of inserted point, there can be found out which circles circumscribed by the existing elements contain this inserted point. The common boundary of such elements is erased, and the new point is linked to existing points (Figure 3.3).
- **Green-Sibson algorithm** is like Bower-Watson algorithm (gradual points inserting, testing by circumscribed circles). In the first step, the inserted point would be connected with vertices of the triangle in which that point is (in case of the fig. 3.3 network, the  $P_2 P_3 P_7$  triangle would be split into the triangles  $P_2 P_7 P_9, P_3 P_7 P_9$  and  $P_2 P_3 P_9$ ). If all three triangles satisfy the Delaunay criterion, the refinement ends. Otherwise, modification of the network is needed to be done. In this case, the edge  $P_2 P_3$  would be removed and then replaced by  $P_8 P_9$ . Thus, the result would be the same as if Bowyer-Watson algorithm was used.
- **Delaunay triangularization of the advancing queue** on contrary is not based on the existing coarse network. The network is gradually constructed from the edges of the discretized structure inward to meet all the requirements defining the Delaunay network.

<sup>1</sup> The Dirichlet (or Voronoi)  $i$ -th discretization cell  $D_i$  is defined as a set of points whose distance from  $P_i$  is less than or equal to the distance from all other points  $P_j$  (see fig. 3.2).

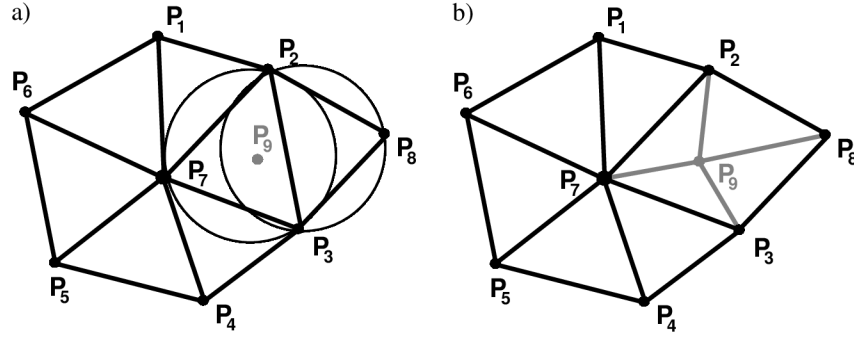


Fig. 3.3 Bower-Watson algorithm for Delaunay triangular network generation:  
a) Circumscribed circles testing, b) refinement of the network

The refinement approach applied to the longitudinally homogeneous lines analysis using the discretization elements method was described in [3.4]. The approach was based on the reaction of the electromagnetic field  $a$  on the field sources  $b^2$  calculation<sup>2</sup>.

$$\langle a, b \rangle = \int_{\Omega} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^b - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^b] d\Omega \quad (3.1)$$

In the relationship (3.1),  $\mathbf{J}$  and  $\mathbf{M}$  express the electric and magnetic current density vectors,  $\mathbf{E}$  and  $\mathbf{H}$  are the electric and magnetic intensity vectors and  $\Omega$  expresses the domain which is analysed.

Since in the resonance (in harmonic steady state) the electromagnetic field oscillates without the presence of sources, the reaction of the field to any source must be equal to zero [3.4]<sup>3</sup>.

$$\langle a, a \rangle = \int_{\Omega} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^b - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^b] d\Omega = 0 \quad (3.2)$$

The structure needs to be analysed twice. In the first analysis, the formulation based on the electric field intensities is used, and in the second analysis, the formulation based on the magnetic field only is used. The next step is substituting for sources (3.2) from the Maxwell equations [1.4]

$$\mathbf{J}^a = \nabla \times \mathbf{H}^a - j\omega\epsilon \mathbf{E}^a \quad (3.3a)$$

$$\mathbf{M}^a = - [\nabla \times \mathbf{E}^a + j\omega\mu \mathbf{H}^a] \quad (3.3b)$$

In the relationships (3.3)  $\omega$  expresses the angular frequency,  $\epsilon$  is permittivity and  $\mu$  is permeability of the domain in which the analysis is performed.

Now it is possible to calculate the relative error caused by the  $n$ -th element of the discretization network [1.4].

<sup>2</sup> The generated electric field intensity and the source electric current density product expresses the power of the inner electric sources' density. The generated magnetic field intensity and the source magnetic current density product expresses the power of the inner magnetic sources' density. The difference of the both terms gives the total inner sources power density. By integrating through  $\Omega$  region, the total output of the external sources of the electromagnetic field [3.20] is obtained.

<sup>3</sup> The electromagnetic field contains only the vortex components. The energy splashes between an electric field and a magnetic field. The field oscillates even if the total power of the external sources of the electromagnetic field is equal to zero [3.20]. This applies only when the environment in which the field is vibrating is lossless. Losses would gradually dampen the vibrations.

$$\delta_n = \frac{\left\| \int_{\Omega_n} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^a - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^a] d\Omega \right\|}{\omega \int_{\Omega_n} \left[ \frac{1}{2} \varepsilon \|\mathbf{E}^a\|^2 + \frac{1}{2} \mu \|\mathbf{H}^a\|^2 \right] d\Omega} \quad (3.4)$$

Where  $\Omega_n$  expresses the domain of the  $n$ -th discretization element; the meaning of the other symbols remains the same as in previous relationship.

The integral in the numerator (3.4) should be equal to zero, because the reaction of the field to an arbitrary source must be equal to zero in harmonic steady state. If the numerical analysis contains errors in determining the distribution of the electromagnetic field, the numerator will be nonzero. Since the integration is held in the numerator above the  $n$ -th discretization element  $\Omega_n$  area, the numerator is proportional to the  $n$ -th element's contribution to the total absolute error of the solution. The expression in the numerator corresponds the total electromagnetic field energy in the  $n$ -th element area (integration over  $\Omega_n$  again). The quotient (3.4) provides a relative error of the solution caused by the  $n$ -th element.

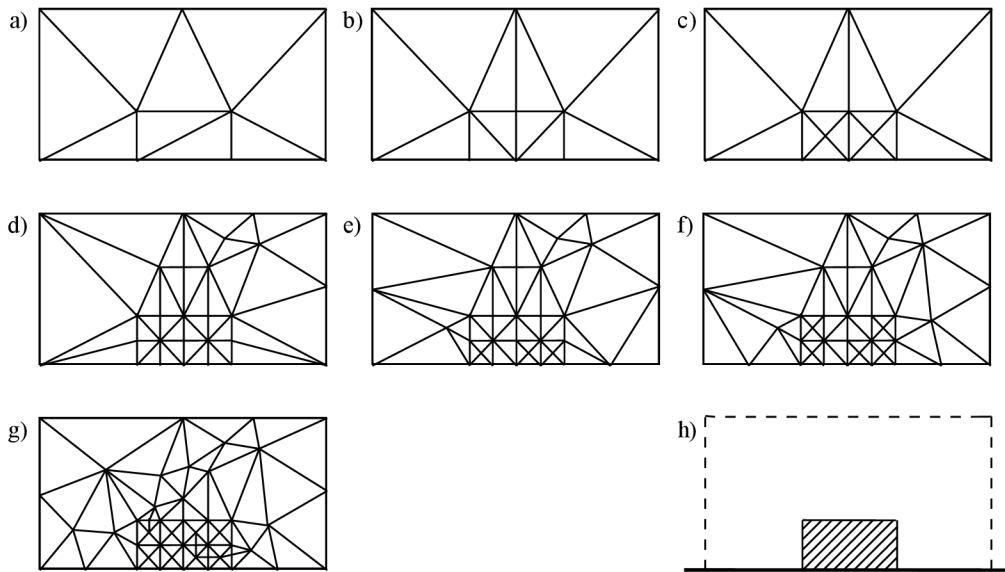


Fig. 3.4 Gradual refinement of the discretization network (a to g) when the analysis of the dielectric waveguide on the metal ground plate (h) is held using the finite element method. Delaunay triangularisation with reaction concept was used for the refinement. The figure is taken from [3.4].

If the relative error (which the individual discretization elements have contribution on) extent is known, it is possible to adaptively lower the solution error {using the continual dividing of the elements with the most significant error} until the required level of the solution error is reached.

So far, only the two-dimensional triangular discretization networks were examined. However, the described procedure can simply be generalized even for the generation of the three-dimensional discretization networks consisting of tetrahedrons as discretization elements [3.15] [3.16].

## 3.2 Formal approximation of the desired quantity

Now that the analysed structure is covered with quality discretization network, it is possible to perform a next step of the numerical analysis. The next step is the formal approximation<sup>4</sup> of the calculated field magnitude over each element of the discretization network. The formal approximation is assembled using the known basis functions  $f_j$  which are multiplied by unknown approximation coefficients  $c_j$ . Basis functions which have constant (fig. 3.5a), linear (fig. 3.5b) or quadratic course are used most commonly.

Approximation is formal because the course of the approximated quantity is unknown (unknown approximation coefficients  $c_j$ ). It is essential to determine the approximation coefficients in the way that the obtained approximation function fulfils the Maxwell equations applied to the analysed structure description as accurately as possible.

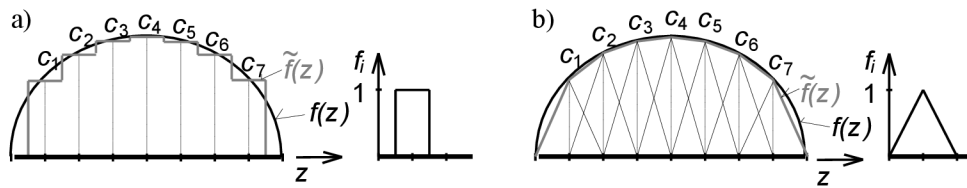


Fig. 3.5 Formal approximation of the desired quantity  
a) constant per parts, b) linear per parts

The most commonly basis functions are the linear functions. To achieve a correct approximation of the electromagnetic field at the intersection of the two discretization elements, special types of base functions have been developed which are vector-like or which combine scalar and vector-based functions.

In the following paragraphs, two types of the basis functions will be described. Firstly, the simplest node functions used in the finite method analysis (when analysing the structures consisting of the perfectly conductive parts and vacuum) will be examined. In this case, it is not necessary to pay attention to correct modelling of field continuity at the interface of dielectrics [3.3].

Secondly, the hybrid vector basis functions which are used in the finite elements method when analysing the longitudinally homogenous lines with a general cross section will be examined. Different dielectrics may be involved in the cross-section and therefore, it is necessary to use base functions in the transverse plane to ensure the continuity of the field at interfaces of different dielectrics [3.4].

The node functions are the simplest basis functions. By the word *node* is denoted the vertex of the triangular discretization element (points 1, 2, 3 in fig 3.6). In the nodal approximation, the approximation coefficients of the calculated field quantity in the nodes take place; these are spatial samples of the magnitude of fields  $c_1^{(n)}$ ,  $c_2^{(n)}$ ,  $c_3^{(n)}$ , which are not known at this time. Nodal basis functions, based on nodal values, approximate the distribution of field quantities over the entire surface of the discretization element. In case of the linear approximation, the nodal values over the element  $c_1^{(n)}$ ,  $c_2^{(n)}$ ,  $c_3^{(n)}$  are interspaced by a plane (fig. 3.6). In case of the formal approximation, the approximation plane becomes the unknown coefficient function  $c_1^{(n)}$ ,  $c_2^{(n)}$ ,  $c_3^{(n)}$ .

Upper index expresses the discretization element number over which flatness is the quantity approximated, and the lower index indicates the node number.

<sup>4</sup> The approximation is denoted as formal because the course of the function is not known at this moment. Therefore, it is *formally* assumed that the unknown function values in certain points are known (unknown approximate coefficients are considered known). As a result, it is possible to create a general approximation where it is possible to change the function course using the change of approximation coefficients values.

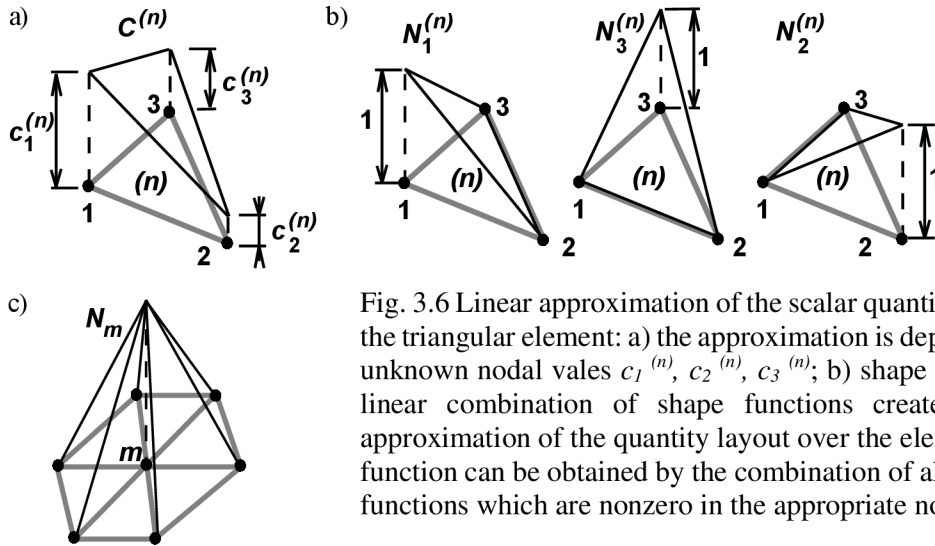


Fig. 3.6 Linear approximation of the scalar quantity layout over the triangular element: a) the approximation is dependent on the unknown nodal values  $c_1^{(n)}$ ,  $c_2^{(n)}$ ,  $c_3^{(n)}$ ; b) shape functions; the linear combination of shape functions creates the linear approximation of the quantity layout over the element; c) basis function can be obtained by the combination of all of the shape functions which are nonzero in the appropriate node.

The approximation of the layout of the quantity of the field over the plane of the discretization element used the plane which is called linear shape function. Linear approximation can be created by multiplying the shape functions by the corresponding nodal values and by summing them up [3.3], as it is indicated in fig. 3.6a, b.

$$C^{(n)} = \sum_{m=1}^3 c_m^{(n)} N_m^{(n)} \quad (3.5)$$

The linear shape function  $N_m^{(n)}$  gains unit values in the  $m$ -th node of the  $n$ -th triangle and in the rest of the nodes, it is equal to zero (fig. 3.6b).

If all the shape functions which gain unit values in  $m$ -th node are merged, the basis function of  $m$ -th node  $N_m$  is obtained (fig. 3.6c). Based on the base functions and nodal values, the approximation of the scalar field magnitude over the entire analysed area [3.3] can easily be expressed.

$$C = \sum_{m=1}^M c_m N_m \quad (3.6)$$

where  $M$  expresses the total amount of the nodes and  $c_m$  is global node value.

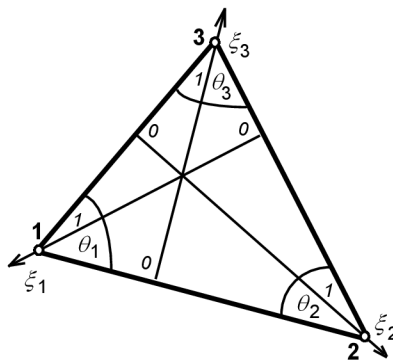


Fig. 3.7 Two-dimensional simplex coordinates.

The base and shape functions are preferably expressed by simplex coordinates. In case of two-dimensional triangular components, the simplex coordinates have the direction of the triangle heights. The coordinate is unitary on the triangle vertex it passes through, and zero at the opposite edge (see fig 3.7).

Linear shape functions for triangle element can be expressed as follows [3.3]:



$$N_1^{(n)} = \xi_1, \quad N_2^{(n)} = \xi_2, \quad N_3^{(n)} = \xi_3 \quad (3.7)$$

where  $\xi_1, \xi_2, \xi_3$  denotes simplex coordinates (see fig 3.7). More information about nodal approximations and simplex coordinates can be found in [3.3] and [3.7].

As it was mentioned, the nodal approximation is unable to provide continuity conditions at the dielectric interfaces. In the results, it will manifest itself, besides the physically existing solutions, as physically non-existing solutions (so-called *spurious solutions*). These physically non-existing solutions satisfy the first and second Maxwell equations but do not satisfy the third and fourth Maxwell equations (so-called divergence-free conditions). While using the nodal approximation, these solutions can be avoided in two ways only:

- For the calculation, the first and second Maxwell equations are used directly [3.18]. Thus, a system of six scalar equations for six unknown field components  $E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$  is in process, whereas the spatial distribution of each component is particularly approximated by nodal functions. Therefore, the computing and memory requirements of this approach are very high.
- The wave equation which is the result of the first and second Maxwell equations combination is in process. All what is needed to do is to solve three scalar equations for the three components of the array. However, to ensure that the divergence conditions are met, a special divergence term must be added to the wave equation [3.19]. Nevertheless, this complicates the solution of the resulting matrix equations (increases the density of the matrices and disrupts their band character).

The problem was solved using the vector edge basis functions. In the case of longitudinally homogeneous lines, where it is necessary to ensure that the conditions on the dielectric interfaces are met in the transverse plane  $xy$  only, the vector edge approximation is used for the transverse components of the electric field intensity vector  $E_x$  and  $E_y$  only. The distribution of the longitudinal component of the field  $E_z$  can be approximated using conventional nodal functions [3.4].

Thus, the distribution of the longitudinal component of the field over the  $n$ -th discretization element can be expressed according to (3.5) and (3.7) as [3.4]

$$E_z^{(n)} = \sum_{m=1}^3 e_{z,m}^{(n)} N_{z,m}^{(n)} = \sum_{m=1}^3 e_{z,m}^{(n)} \xi_m \quad (3.8)$$

where  $e_{z,m}^{(n)}$  are the unknown nodal values and  $N_{z,m}^{(n)} = \xi_m$  is a linear shape function expressed in the simplex coordinates.

The distribution of the transverse field vector is expressed as a linear combination of the unknown scalar approximation coefficients and the known vector basis functions [3.4]

$$\begin{aligned} \vec{E}_t^{(n)} &= \vec{N}_{t,12}^{(n)} e_{t,12}^{(n)} + \vec{N}_{t,23}^{(n)} e_{t,23}^{(n)} + \vec{N}_{t,31}^{(n)} e_{t,31}^{(n)} \\ &= \sum_{i,j} \vec{N}_{t,ij}^{(n)} e_{t,ij}^{(n)}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

On the edges of the discretization element, the vector basis functions have the direction of these edges – therefore, they are called edge discretization elements. Using the simplex coordinates, they can be expressed by the relationship [3.4]

$$\vec{N}_{t,ij}^{(n)} = \xi_i \nabla_t \xi_j - \xi_j \nabla_t \xi_i \quad (3.10)$$

Where  $\nabla_t$  is transversal differential operator *nabla*. If the direction  $\mathbf{z}_0$  is considered as a longitudinal direction in the Cartesian coordinate system, then the transversal differential operator *nabla* can be expressed by the relationship:

$$\nabla_t = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{x}_0 + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{y}_0 \quad (3.11)$$

Since the two adjacent discretization elements share the same edge and since the electrical and magnetic properties of the materials must be constant in the area of the discretization element, the use of edge elements automatically guarantees the tangential continuity of the field quantities at the interfaces.

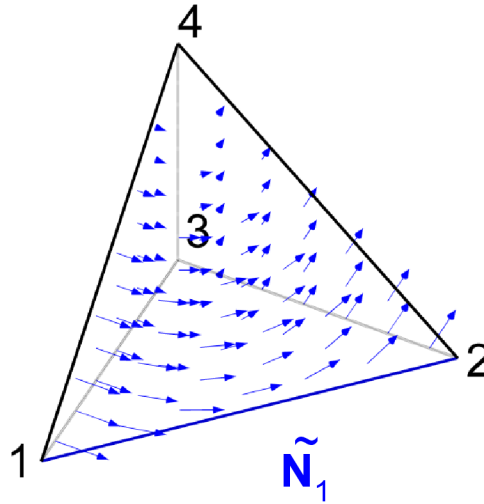


Fig. 3.8 Vector basis function of the horizontal edge. The basis function vector is unitary in the horizontal edge and zero in the other two edges (it is perpendicular to them).

### 3.3 Substituting the formal approximation into the solved equation

The solved equation is expressed symbolically:

$$F[\mathbf{E}(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) = 0 \quad (3.12)$$

In this equation,  $F$  denotes a general differential operator,  $\mathbf{E}$  is the field distribution (represented by the electric field intensity vector),  $\mathbf{r}$  is the position vector of the point at which the field strength is calculated, and  $s$  plays the role of frequency (if we analyse the structure in a harmonic steady state) or time (if the unsteady, transient action is analysed). The function  $f(\mathbf{r}, s)$  describes known sources of the sought electromagnetic field.

By substituting the formal approximation  $\mathbf{E}_a(\mathbf{r}, s)$  into the relationship (3.12), instead of the exact solution, the following relationship is obtained:

$$\begin{aligned} F[\mathbf{E}_a(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) &= F\left[\sum_{m=1}^M c_m \mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)\right] - f(\mathbf{r}, s) = \\ &= \sum_{m=1}^M c_m F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) = R(\mathbf{r}, s). \end{aligned} \quad (3.13)$$

The approximation is expressed as a sum of the product of the unknown scalar approximation coefficient  $c_m$  and known vector basis function  $\mathbf{N}_m$  on the  $m$ -th discretization element. The products of  $c_m \mathbf{N}_m$  are summed over all  $M$  discretization elements to which the analysed structure is divided.

Since the operator  $F$  is linear, it is possible to change the order of the operator application and the summation. Because  $c_m$  is a constant (though unknown now) it can be factored out in front of the operator. This gives the sum of the  $M$  unknown coefficients  $c_m$  multiplied by the known functions  $F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)]$ .

It cannot be ignored that the null right side of the equation (3.12) changed after the substitution of the approximation on the non-zero function  $R(\mathbf{r}, s)$ , whose value depends on the position of  $\mathbf{r}$ . This function is called a residuum (a residual function). Basically, the fact that the approximation deviates from the exact solution is expressed and that the magnitude of this deviation depends on position and frequency or time (see fig 3.5).

In the next step, such values of the approximation coefficients  $c_m$  are to be found so that the residual function takes on the smallest possible values. Using this approach, it is possible to reach maximal accuracy of the values.

### 3.4 Residuum minimization

For the residual function minimization, the weighted residual method is often used. This method is based on multiplying the residual function  $R(\mathbf{r}, s)$  by a suitable weight function  $W_m(\mathbf{r}, s)$ , on integrating the product over the entire analysed area, and on zeroing the integration result

$$\iiint_V [W_n(\mathbf{r}, s) R(\mathbf{r}, s)] dV(\mathbf{r}) = 0 \quad (3.14)$$

This basically expresses the requirement that the mean weighted error of the solution over the entire analysed space is zero.

If the weight function is a basis function, then the Galerkin method is employed [3.7]

$$\begin{aligned} \iiint_V \left\{ N_n(\mathbf{r}, s) \sum_{m=1}^M c_m F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)] + N_n(\mathbf{r}, s) f(\mathbf{r}, s) \right\} dV(\mathbf{r}) = \\ = \sum_{m=1}^M c_m \iiint_V \{ N_n(\mathbf{r}, s) F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)] \} dV(\mathbf{r}) + \\ + \iiint_V \{ N_n(\mathbf{r}, s) f(\mathbf{r}, s) \} dV(\mathbf{r}) = 0. \end{aligned} \quad (3.15)$$

The relationship (3.5) is one equation for  $M$  unknown coefficients  $c_m$ . In the integrals over the analysed area  $V$ , there are known basis functions and known operator only. Therefore, this integral can be expressed by the only specific number. Even the second term can be expressed by a specific number since it is a definite integral of the known weight function and known source function product.

If the residuum is gradually multiplied by  $M$  different weight functions, a system of  $M$  linear algebraic equations for  $M$  unknown approximation coefficients  $c_m$  is obtained.

### 3. Analysis

This part provides an analysis with respect to the chosen analytical framework which consists of seven principal subchapters (each for different linguistic discipline). The major examined stages are going to be lexical, grammatical, semantic, and discourse level of language. Instances of the referenced assumptions are then searched in the text and put into comparison with the examples retrieved from the translated text to determine to what extent the chosen textbook and mainly its translation suits the requisites of scientific and technical text.

#### 3.1. Analysis introduction

In the general introductory part, the main topic of the translated text was already suggested. In this analysis preparatory part, I am going to discuss further information about the text as well as several basic discourse features. In the hypothesis part, the main aim, including all major goals, is specified.

##### 3.1.1. General description

The translated text provided in the second chapter is a part of textbook *CAD v mikrovlnné technice* which is an advanced level textbook written by prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, who specialises in teaching the subjects with focus on electromagnetic waves and lines at the Faculty of Electrical Engineering and Communication, BUT. The aim of this textbook is mainly computer aided design of microwave lines, circuits and antennas designed for the centimetre waveband (frequencies 0.9 to 10 GHz). GSM and Wi-Fi provide well-known examples of the standards which operate in this band. The textbook is written completely in the Czech language and, so far, it has not been translated to English.

##### 3.1.2. Situational context

The original text was retrieved from a technical university textbook, so let us assume that it is an example of academic technical genre. This claim, however, will be discussed and analysed in detail in the further part of this chapter. For now, therefore, let us build on this assumption. There is no doubt that non-mass-produced textbooks, especially the ones deeply focused on very specific topic like *CAD v mikrovlnné technice*, are produced mainly by professors or teachers at universities. And, of course, they serve as a medium by which professors can structure their teaching and by which they communicate with their students, providing them with a reasonable information source outside of regular lessons.

Hartley (2008: 3) says that academic texts are precise, impersonal and objective. Writers generally use the third person, the passive voice, complex terminology, and various footnoting and referencing systems. Therefore, it is safe to say that the extent of target group of academic technical texts in general is only limited by curiosity of individual potential readers.

Nevertheless, academic texts are aimed predominantly at students of that particular subject. Creation of such text, in any case, requires the writers – professors to be both absolutely knowledgeable of the examined subject and acquainted with essentials of academic writing style, not to mention the didactic principles applied here to make the text more comprehensible for readers.

Because of the fact that textbooks are made mainly to teach a specific topic generally from the beginning, there is fundamentally no need for readers to know any other texts or books of similar character. On the other hand, textbooks, as it was already mentioned, are primarily made to accompany the attendance to regular lessons. Therefore, it is convenient to say that students' presence in these lessons enhances the understanding of the text.

### **3.1.3. Theories and previous studies**

It was already mentioned that the translated text is supposed to be a representative of academic writing genre. Therefore, what criteria must the translated extract meet in order to be declared as a successful translation? Is the textbook itself a direct representative of technical writing according to the individual linguistic disciplines' analysis?

First of all, let us examine the definition of the concept of genre. Setting the limits for genre as such helps in more systematic building of this initial assumption. Swales made four different views on genre – genre in folklore studies, in literary studies, in linguistics and in rhetoric. For this papers' purpose, let us follow the linguistic one. He considers important to distinguish between *genre* and *register* since these two terms are often interchanged by some scholars or linguists. *Genre* can fundamentally be seen as a finite set of linguistic decisions whereas *register* rather examines how texts are perceived, categorized and used (Swales 1990: 41).

With the necessary terms described and distinguished, here, the academic writing genre characteristic features will be discussed. Hartley cites Smyth's emphasis on academic text's objectivity. Therefore, there should be a balanced discussion of a range of views. The same applies for judgements or moral beliefs, which must be avoided. According to Hartley, academic text is unnecessarily complicated, technical, authoritative, humourless, elitist and impersonal. Impersonality should be specifically highlighted since the usage of personal pronouns can lead to biases and unsupported assumptions (Hartley 2008: 3).

Along with the features of academic writing, there is also its structure which plays an important role in the genres' definition. Hartley describes the most typical organization of research articles known as IMRAD (introduction, method, results and discussion). However, it is more of an abstract rule than something that the scientists follow. It is rather a method for

making the scientific enterprise look much more logical. Along with strict features listed above, this concept of structure is actually somewhat misleading (Hartley 2008: 8). For that reason, Hartley provides a table of rhetorical devices which often fluctuate from the basic characteristics of academic writing in practice.

Jargon:	language that can become pretentious and opaque.
Misuse of references:	lists of references to support a point, and selective references to support one side of the argument and not the other.
Straw men arguments:	to bolster a position.
Vague qualifiers:	e.g. ‘Most people will agree . . .’ – to ensure the reader does or does not, as appropriate.
Quotations:	selectively used to support a point with particular emphasis.
Anecdotes:	used like quotations.
Examples:	the most dramatic ones selected from a range.
Exclamation marks and question marks:	to speak more directly to, and carry along, the readers.
Omissions:	especially in abstracts, of key details such as the numbers of participants, their ages and where the study was carried out.
Overstatements:	discussing non-significant findings as though they are statistically significant.
Distortions:	selective presentation of findings from previous research and in the current research.

*Table 1: Some rhetorical devices used in academic articles to persuade the reader of validity of the argument (Hartley 2008: 9)*

It is also necessary to set a standard for a successful technical translation. In other words, what conditions must be met to make a successful translation of academic technical text (apart from precision, concision and clarity). Olohan (2016) highlights the importance of language characteristic for science and technology which was discussed above. However, his book on

scientific and technical translation presents a list of the most used words in translation of research articles – the main representatives of academic writing genre.

Nouns	study, group, system, research, level, result, process, use, development, data, information, effect, change, table, policy, university, model, experience, activity, history, relationship, value, role, difference, analysis, practice, society, control, form, rate
Verbs	provide, include, develop, suggest, require, report, base, describe, indicate, produce, identify, support, increase, note, represent
Adjectives	social, important, human, economic, low, significant, international, individual, environmental, cultural, likely, general, similar, common, current
Adverbs	however, both, thus, therefore, particular

Table 2: Top 30 nouns, top 15 verbs and adjectives, and top 5 adverbs from the AVL organized by lemma (Olohan 2016: 147)

#### 3.1.4. Goals and hypotheses

In the following chapters, it is going to be examined whether or not the translated extract meets the requirements of academic technical text and whether or not the translation was successful, eventually, to what extent. Different layers of analytical framework will be introduced in order to precisely detect all the features relevant for discussed genre.

1<sup>st</sup> goal: Provision of an analysis of the text features including the major linguistic disciplines.

2<sup>nd</sup> goal: Comparison of analysis output and characteristic features of academic writing genre.

3<sup>rd</sup> goal: Alignment of the translated text examples with referenced phenomena.

Hypothesis: If the analysis output confirms that the translated text has all the major academic writing genre features, then the translation can be considered as successful.

## 3.2. Lexical level

The first level of the analysis reviews the major lexical features of the translated text. The main aim is to find whether or not, eventually to what extent the translated text makes use of the lexical features, characteristic for academic writing style. This is determined both by specification of vocabulary used in the text and by considering the proportion of grammatical and lexical words. This proportion is then subjected to comparison with Olohan's table mentioned in the theoretical part.

### 3.2.1. Vocabulary specification

In his study on text reading difficulty, which is based on Flesch scores and their interpretation, Hartley speaks about academic text as a typical example of the difficult and the very difficult categories. However, he mentions the limitations of this measure. This method of difficulty determination is computer based and rather old-fashioned – the result is based mainly on the density of long words and sentences in the text (Hartley 2008: 7). Nevertheless, this method provides a reasonable basis for the specification and categorization of the vocabulary used in prof. Raida's textbook. Thus, let us pick some significant lexical words used in the text.

- algorithm
- functionality
- propagation
- derivation
- permittivity
- wavelength
- discretization
- triangularization
- permeability
- approximation
- coefficient
- representation

These words are widely used throughout the whole textbook and there is no doubt that the majority of the above listed words are the direct representatives of specialized terminology – characteristic attribute of academic writing style. Their density and proportion are to be discussed below.



### 3.2.2. Vocabulary layers

There is another very important vocabulary layer involved in the textbook. The whole textbook is written using strictly formal vocabulary – typically longer words with Latin or Greek origin. These words, however, do not individually have numerous representations in the text, which, on the other hand, can contribute to the diversity of the whole text and excellent writing skills of the author. The etymological data which the following selection of words is based on is retrieved from: <https://www.etymonline.com/>.

- follow
- consider
- entire
- proceed
- distribution
- connect
- insert
- numerous
- nevertheless
- test

### 3.2.3. Lexical density

Now, let us proceed to the lexical density of the whole translated extract. In their book on text analysis, Carter and Goddard say that the frequently used words, especially the lexical ones, are the most significant information carriers. To put this in simplification, the more the lexical words in text, the higher informational content the text provides – while maintaining all of the other rules when creating texts, of course. (Carter and Goddard 2016: 85) Provided data below reveals both parts of speech percentage in the extract and lexical density in individual sentences (only some of them are presented).

Part of speech	Percentage
Nouns	33.01%
Adjectives	9.82%
Verbs	7.89%
Adverbs	2.57%
Prepositions	13.6%
Pronouns	0.6%
Auxiliary verbs	5.57%

Table 3: Parts of speech

This table retrieved from Analyse my writing web application confirms that the most frequent part of speech are nouns which can be considered as information carriers in most cases. Another important portion is created by adjectives and verbs, other representatives of lexical word classes. Notice also the percentage of pronouns – their very low representation in the text

contributes to the textbooks strict impersonality which is one of the most significant features of academic writing according to Hartley (2008).

Now, let us focus on lexical density of the text as a whole as well as some remarkable sentences. The above-mentioned website presents a brief summarisation of lexical density concept. The term lexical density basically means a percentage of words providing an information on what is being communicated, i.e. measure of how informative the text is. According to the application output, the portion of lexical words in the entire text is 53.37% which roughly corresponds with the referential value (55% - 58%) for expository texts further discussed on the application webpage. Here are several examples of lexically dense sentences retrieved from the translated extract (lexical words are marked by bold font).

1. *Therefore, discretization elements are two-dimensional triangles* with 83.33%
2. *So far, only the two-dimensional triangular discretization networks were examined* with 80 %
3. *The formal approximation is assembled using the known basis functions  $f_j$  which are multiplied by unknown approximation coefficients  $c_j$*  with 68.42%
4. *Nodal basis functions, based on nodal values, approximate the distribution of field quantities over the entire surface of the discretization element* with 66.67%
5. *Upper index expresses the discretization element number over which flatness is the quantity approximated, and the lower index indicates the node number* with 63.64%

#### **3.2.4. Lexical level analysis conclusion**

Based on these outputs, this part of analysis approved that the text translation was rather successful in terms of proper conversion of lexical features typical for academic writing.

### 3.3. Grammatical level

Closely connected, yet more broadly oriented level of the analysis is the grammatical one. This chapter primarily examines the text from the perspective of sentence formation and syntax. In the first part, the complexity of sentences together with the most widely used types is commented on, the second part then offers an analysis on emphatic structures and grammatical markers of formality.

#### 3.3.1. Sentence complexity

In terms of sentence and, by extension, the whole text, the previous chapter results partly, yet naturally answers the question about complexity even from the grammatical point of view. According to Fig.1, generated using web application Analyse my writing, it can be seen that the text rather consists of longer and generally more complex sentences. Therefore, let us pick several representatives of typical sentences used throughout the textbook. This selection is based mostly on the information value of the sentences according to lexical density.

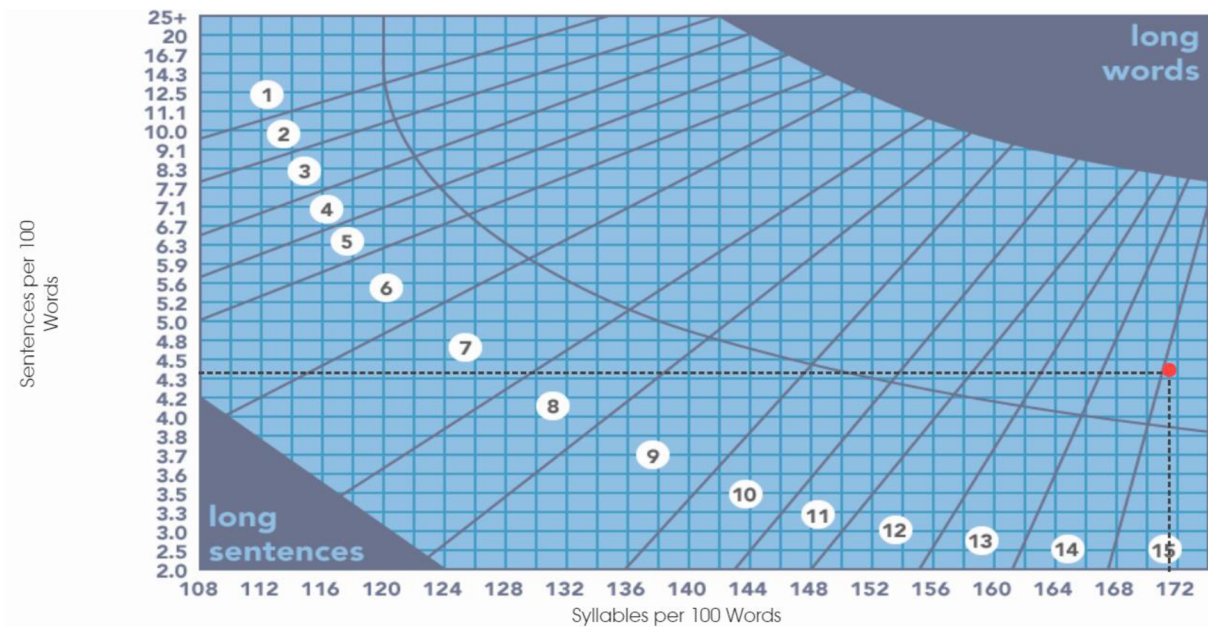


Figure 1: The Fry readability graph

1. If the upper and lower walls of the test structure are set (yellow plates) to the boundary condition of the open space, a set of two parallel infinitely wide planar surfaces (grey plates) is created.
2. If the attributes of the line are invariant in longitudinal direction it is denoted as longitudinally homogenous the line is endless in length and each transversal cross section is the same.
3. Nevertheless, this thin network consists of numerous discretization elements and therefore has high calculation requirements.

4. *Since in the resonance in harmonic steady state the electromagnetic field oscillates without the presence of sources the reaction of the field to any source must be equal to zero.*
5. *However, the described procedure can simply be generalized even for the generation of the three-dimensional discretization networks consisting of tetrahedrons as discretization elements [3.15] [3.16].*

The above-mentioned extracts provide examples of complex and compound sentences which are frequently used structures throughout the whole text. There are, of course, a plenty of shorter simple sentences found. But, when occurred, those have usually a complementary, introductory or summarisation role.

1. *Thus, the amplitude of the field strength in  $z$  direction is invariant.*
2. *Thus, in Maxwell equations all the derivatives are equal to zero.*
3. *This variable is a complex function.*
4. *Therefore, (2.35) become into the shape of a wave equation.*
5. *However, the difference is in marginal conditions.*

### **3.3.2. Sentence types**

With regard to discourse functions, the whole text exploits declarative sentences only. However, according to Table 1 provided by Hartley, it is commonly possible to employ interrogative or exclamatory sentences in academic texts. This typically occurs when writers want to speak more directly to the readers.

### **3.3.3. Emphatic structures**

From the broader point of view, the textbook language is rich in emphatic structures usage as well. Within the more complex sentences, there can be found numerous instances of fronting. There can be found two types of fronting utilized in the text. In the first one, the writer wants to emphasize something important whereas in the second one, the author gives position to the front of the sentence in order to organize the following thoughts more freely.

In the first two examples, the author first focuses on the situation in order to construct following information more cohesively.

1. *In between the walls, the standing waves are created by compounding the reflections of waves.*
2. *In the electrostatic case, such a structure can be understood as a plate capacitor consisting of endless electrodes.*

In the second set of examples, there can be seen an intention to place the introductory information to the beginning in order to formulate the rest more naturally.

3. *Because of yellow plates and open space replacement, there is no possibility of creation or composing of reflected waves in the y direction.*
4. *When generating the Delaunay network, one out of three following approaches is often used:*

According to Carter and Goddard, another manner of emphasis modification within the sentence is the use of passive and active voice. They say that the passive voice structures are often a way of depersonalizing a text. As examples of impersonality in texts, they provide legal documents and academic writing, since in these two genres it is needed to stress the topic rather than an individual or the other people (Carter and Goddard 2016: 136). [Analyse my writing](#) web application, among other things, offers an analysis on passive voice usage. The output from this analysis is that roughly 59% of sentences from the extract show signs of passive voice. However, the output can be slightly distorted because of the variety of language used. The algorithm then did not have to detect all the cases or possibly omitted some of them. However, the rest of the sentences use the active voice. This is because of the fact that the agent, and at the same time the subject of the sentence, is inanimate and therefore impersonal.

### 3.3.4. Grammatical markers of formality

Online Cambridge dictionary provides a brief distinction on grammatical markers of formality. There are three basic choices of grammar and vocabulary: contracted forms, relative clauses without a pronoun and ellipsis. The following examples are picked in order to determine the text formality according to the above-mentioned choices.

Contracted forms are not used in the text.

1. *In between the walls the standing waves **are** created by compounding the reflections of waves.*
2. *Electrostatic field **is** formed by charges whose magnitude and position **are** time invariant.*

All sentences with relative clauses use a proper pronoun.

3. *For the derivation given in (2.26) it was assumed **that** the permittivity is the same in all the analysed domains.*
4. *If the relative error **which** the individual discretization elements have contribution on...*

And finally, the text does not use an ellipsis.

5. *Now, let it be assumed that the electromagnetic quantities are harmonically varying. Time variability of these quantities can be described by rotating the phasors  $E(r)$  and  $H(r)$  in the complex plane.*

### **3.3.5. Grammatical level analysis conclusion**

According to the outputs of grammatical analysis, it can be said that the translation of major grammatical features respected all the main requisites of academic writing.

### 3.4. Semantic level

Last but not least, there is a necessity to examine the text from the point of view of meanings as well. For this purpose, an analysis on semantic properties of the text is provided. This part is divided into three principal parts – in the first part, a commentary on text explicitness connected with figurative means usage evaluation is given. The second one provides a discussion on function symbols in the text and finally, in the last part, there can be found a description of lexical relations.

#### 3.4.1. Text explicitness & figurative means

As it was already introduced before, academic writing emphasizes clarity and unambiguity. Saeed in his book on Semantics provides a brief distinction between literal and non-literal meaning. Naturally, when literally (explicitly) speaker speaks in unbiased and accurate way, whereas in case of non-literal (implicit) speaking, there can be often seen a usage of untrue or even impossible terms in order to achieve specific reaction of the audience. He describes non-literal use of language as figurative and provides most common rhetorical terms. These can include metaphor, irony, metonymy, synecdoche, hyperbole or litotes (Saeed 1997: 15). Let us select one complete section of the text.

*Since the analysis is realized in the domain outside the sources influence, it is not necessary to include the third and fourth Maxwell equation – (2.12) and (2.13) in the problem solution. Nevertheless, the calculated value of the electromagnetic field must be suitable for these equations. Because (2.12) and (2.13) describe zero divergence of the vector of the electric induction  $D$  (zero value of spatial density of electric charge  $\rho$  is conditional), and zero divergence of the vector of the magnetic induction  $B$ , so called divergence-free conditions are met (Raida 2015: 8).*

In the extract, there can be seen that all the discussed phenomena are explained precisely without using any sign of ambiguity or inaccurate expression involvement. The character of this excerpt is maintained throughout the whole textbook. However, Saeed references the work of Lakoff and Johnson. They see the metaphor as an integral part of human categorization. Based on their statement, speakers unconsciously use them while organizing their thoughts about the world. As an example, they use utterances about time such as ‘You are wasting my time.’ or ‘This gadget will save you hours.’ Nonetheless, their work is denied by many linguists (Saeed 1997: 15). From this point of view, even the above-mentioned extract can contain several instances of metaphor.

#### 3.4.2. Symbols

Now, let us highlight the usage of symbols. The textbook adopts a comprehensive numerical referencing system for linking the discussed equations, derivations, formulas and eventually figures into the text. Each reference consists of two independent numerical parts, the

first number refers to the chapter number and the second one is the serial number of the individual reference. Some instances can also be found where the writer, in addition to the numerical one, supplies the reference with letters. These letter suffixes generally denote the equations which vary in one or two parameters or components and are used for the similar purpose in the following text. There are several instances of footnoting in the textbook as well.

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}(\mathbf{r})\exp(j\omega t) \quad (2.29a)$$

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{H}(\mathbf{r})\exp(j\omega t) \quad (2.29b)$$

*In Cartesian coordinate system, the (2.26) can be rewritten into the form (2.29a) (Raida 2015: 17).*

Generally, mathematics is widely used throughout the whole textbook. There can be found many symbols characteristic for this field. The vast majority of these symbols is established and used standardly throughout the engineering branch. These symbols are commonly used both in deriving or stating the equations and in the text.

### 3.4.3. Sense relations

Saeed emphasizes the fact that a particular expression may be found in more lexical relations as there is a number of different relations. He, therefore, thinks of the lexicon as a network instead of a list of words in a dictionary. The most important statement he provides is the fact that there are lexical fields – a group of lexemes characteristic for a particular activity or branch. Essentially, this phenomenon has two different effects. The first one is the usage of specialised terms. Second, more common effect, however, is the use of different tenses for the same word (Saeed 1997: 63). Therefore, let us pick an excerpt from the translated text and look for the presence of these two important effects. Index numbers indicate which meaning the word belongs to.

*The electromagnetic wave **propagation**<sup>3</sup> constant in the **longitudinal**<sup>1</sup> **axis**<sup>1</sup> direction of the **waveguide** is denoted by the symbol  $\beta$  [rad / m]. Constant  $\beta$  determines the phase change of a wave per meter of length along the longitudinal axis of the waveguide. Therefore, this is the **projection**<sup>2</sup> of the wave vector  $\mathbf{k}$  up to the direction of the waveguide longitudinal axis. Wave **vector**<sup>1</sup> has a magnitude of the planar wave **wavenumber** and its direction is identical with the direction of the planar wave propagation (Raida 2015: 19).*

In the extract, there are words in bold. All cases, except of *waveguide* and *wavenumber*, are the representatives of the effect which is, according to Saeed, more common. These words, therefore, have multiple meanings across different branches of science and technology but also



art or anatomy for example. They are typical examples of homonymy and polysemy. Analysis on the use of different senses of chosen words is provided in the list below. The data are retrieved from online Cambridge Dictionary.

1. **propagation**<sup>1</sup>      noun. (GROWING):                      the act of producing a new plant from a parent plant.  
**propagation**<sup>2</sup>      noun. (SPREADING):                      the act or process of spreading something, especially a harmful message or opinion, among a lot of people.  
**propagation**<sup>3</sup>      noun. PHYSICS, specialised:                      the sending out or spreading of light or sound waves, movement, etc.
  
2. **longitudinal**<sup>1</sup>      adjective. EARTH SCIENCE: used to refer to lines or distances east or west of an imaginary line between the North Pole and the South Pole  
**longitudinal**<sup>2</sup>      adjective. MEDICAL, specialised:                      in the long direction of the body or of any body part.  
**longitudinal**<sup>3</sup>      adjective. SOCIAL SCIENCE: longitudinal research is done on people or groups over a long period of time.
  
3. **axis**<sup>1</sup>                      noun. (IMAGINARY LINE):                      a real or imaginary straight line going through the centre of an object that is spinning, or a line that divides a symmetrical shape into two equal halves.  
**axis**<sup>2</sup>                      noun. (BONE) MEDICAL, specialised: the second of the small bones in the neck that form the spine and support the skull.  
**axis**<sup>3</sup>                      noun. POLITICS:                      an agreement between governments or politicians to work together to achieve a particular aim.
  
4. **projection**<sup>1</sup>      noun. (CALCULATION):                      a calculation or guess about the future based on information that you have.  
**projection**<sup>2</sup>      noun. (IMAGE):                      the act of projecting a film or an image onto a screen or wall.  
**projection**<sup>3</sup>      noun. (STICKING OUT):                      something that projects from a surface or above the edge of something.  
**projection**<sup>4</sup>      noun. (DRAWING) ART, ARCHITECTURE, specialised: a drawing that represents a solid shape or a line as seen from a particular direction
  
5. **vector**<sup>1</sup>                      noun. (CALCULATION) PHYSICS, specialised: something physical such as a force that has size and direction.  
**vector**<sup>2</sup>                      noun. (ANIMAL) BIOLOGY:                      an insect or animal that carries a disease from one animal or plant to another.

According to above provided study, it can be seen that many of the used terms can also be used in other branches, thus confirming Saeed's hypothesis.

Finally, let us examine the meaning of the rest of the words. According to Saeed, these seem to have only one unique meaning, and thus can be regarded as specialised terms used exclusively for single phenomenon in a given branch. The data on the meanings are retrieved online from Dictionary.com.

1. **wavenumber**      noun. (SCIENTIFIC):                      the number of waves in one centimetre of light in a given wavelength; the reciprocal of the wavelength.
2. **waveguide**      noun. (ELECTRONICS, OPTICS):      a conduit, as a metal tube, coaxial cable, or strand of glass fibres, used as a conductor or directional transmitter for various kinds of electromagnetic waves.

#### **3.4.4. Semantic level analysis conclusion**

Semantic level examined majorly the explicitness, comprehensibility and overall unambiguity of the text since it was necessary to detect and explain possible shortcomings of the translation. This level of analysis confirmed that the written language of the textbook can be regarded as properly used in terms of academic writing genre.

### 3.5. Discourse level

The final part of the analysis provides an insight into the discourse features of the translated extract. Therefore, in terms of textuality, this subchapter examines three key points. The first part, closely connected to the concluding section of semantic level analysis, inspects the presence of cohesive devices together with discourse markers and eventually linking devices. There can be found also a chapter on intertextuality along with allusions occurrence commentary.

#### 3.5.1. Cohesion & discourse markers

In her book specifically focused on academic discourse, Zapletalová devotes a whole chapter to the cohesion problematics. In the introductory part, she references the first studies on cohesion by Quirk from 1972 and emphasizes that cohesion can be understood as internal coherence. She further describes cohesion as a surface phenomenon based on non-structural, text-forming relations. According to Halliday and Hasan (1976), to whose work Zapletalová, among other things, refers as well, this phenomenon is achieved by so-called cohesive devices. The concept which they defined covers five different categories of cohesion: *reference*, *substitution*, *ellipsis*, *conjunction*, and *lexical cohesion* where the first four categories belong to the grammatical cohesion group (Zapletalová 2009: 93). Zapletalová's further research discusses even more of these concepts defined by other linguists, but for the use in this thesis, let us follow the categories mentioned above. Thus, let us select another excerpt from the translated text and analyse it from the point of view of used cohesive devices and their typicality for academic writing.

*In case of longitudinally homogenous finning line, the covering of the whole cross section of the whole analysed structure by discretization network is needed. Therefore, discretization elements are two-dimensional (triangles). If the attributes of the line are invariant in longitudinal direction, **it** is denoted as longitudinally homogenous (the line is endless in length and each transversal cross section is the same) (Raida 2015: 22).*

According to Halliday and Hassan, the first cohesive device category – reference – divides into two major categories – exophora (situational reference) and endophora (textual reference). Endophora is further divided two subcategories, anaphora and cataphora. The second subcategory, anaphora, describes the case when the writer refers to something mentioned before in the text. Therefore, notice the word *it* denoted in bold in the excerpt above. This is an example of an anaphoric reference – the reader is able to connect the pronoun with before mentioned *homogenous finning line* (Halliday and Hassan 1976: 33). In accordance with to Chapter 3.4.3 on sense relations, it can be said that lexical cohesion is more common in the written texts. Nevertheless, this part of the analysis provided an evidence that grammatical cohesion can occur as well.

The online version of Cambridge Dictionary presents a detailed distinction between substitution and ellipsis, as they can be regarded as similar phenomena. According to the article, both substitution and ellipsis provide a possibility of reducing the amount of spoken or written words. The difference lies in what is omitted. In case of ellipsis, it is assumed that the provider of desired meaning is the surrounding text. Substitution exploits quantifying pronouns instead of clauses.

It was already mentioned in Chapter 3.3.4 on formality markers that it is not characteristic for academic writing to use this type of cohesive device in order to provide the information as comprehensive as possible. The unambiguity and clarity which are important features of academic style is, among other things, achieved by non-using these cohesive devices.

On the other hand, the text as a whole is relatively rich in various types of discourse markers usage. Christine Bauer-Ramazani (2015), a Saint Michael's College English language related study programs director, provides a comprehensive paper on conjunctions from the discourse point of view. Since conjunctions majorly serve as sentence connectors, she distinguishes four different methods of combination in terms of English sentence: coordinating conjunctions, connectors, subordinating conjunctions and phase linkers. For the purpose of this section, another selection of exemplary sentences together with analysis from the point of view of conjunctions is provided.

- *Upper index expresses the discretization element number over which flatness is the quantity approximated, **and** the lower index indicates the node number.*
- *If the walls of the waveguide are perfectly electrically conductive, the Hz on the waveguide casing must meet the Neumann condition **and**  $E_z$  must met the Dirichlet condition.*
- *To achieve a correct approximation of the electromagnetic field at the intersection of the two discretization elements, special types of base functions have been developed which are vector-like **or** which combine scalar and vector-based functions.*

The translated text is not very diverse in terms of coordinating conjunctions usage. The examples above show that there are several instances of conjunctions of this type. The first two examples use the word *and* to achieve the desired type of cohesion – according to Ramazani, usage of *and* means addition. Next, *or*, means a choice. Closely connected to the topic of Chapter 3.3.1, this finding could mean that most of the sentences are simple or complex.

Bauer-Ramazani's other point provides a discussion on connectors. This kind of cohesion is achieved by the usage of specific adverbials or conjunctive adverbs. Therefore, let us look at several examples of connectors usage.

- Constant  $\beta$  determines the phase change of a wave per meter of length along the longitudinal axis of the waveguide. **Therefore**, this is the projection of the wave vector  $k$  up to the direction of the waveguide longitudinal axis.
- The equation (2.42) is formally identical to (2.40). **However**, the difference is in marginal conditions.
- **Firstly**, the electrostatic testing problem will be examined.
- Delaunay triangularization of the advancing queue **on contrary** is not based on the existing coarse network.

Unlike previous category, the textbook uses a wide range of connectors. According to Bauer-Ramazani, these connectors are used to associate two independent clauses or sentences, often with a semicolon or a period. As stated in her paper, there is also a possibility to manipulate with the position of the connectors to give a different emphasis to the information preceding the connector.

Another point of interest in term of connectors are subordinating conjunctions. Bauer-Ramazani says that this type of conjunction connects a dependent clause to an independent one. Therefore, let us highlight several instances of subordinating conjunctions from the translated text.

- The integral in the numerator (3.4) should be equal to zero, **because** the reaction of the field to an arbitrary source must be equal to zero in harmonic steady state.
- **While** the angular frequency expresses the phase change over a time unit  $\omega = 2\pi / T$ , the wave number expresses the change of the phase on the length unit  $k = 2\pi / \lambda$ :
- **Since** the analysis is realized in the domain outside the sources influence, it is not necessary to include the third and fourth Maxwell equation – (2.12) and (2.13) in the problem solution.
- After that, the constant  $\epsilon$  can be placed before the derivative **which** is represented by the operator  $\nabla$ .

The text is remarkably rich in subordinating conjunctions usage. This can be caused by high complex sentence count and the aim of academic writing style to be as precise as possible – see the section on ellipsis usage.

The last category of discourse markers is represented, according to Bauer-Ramazani, by phrase linkers (linking words). She states that these words are transitions which are usually used on the sentence beginning.

- **Because** of yellow plates and open space replacement, there is no possibility of creation or composing of reflected waves in the  $y$  direction.

- *As it was mentioned before, wave propagation in the direction of waveguide axis can be understood as a result of composing the waves that are reflected from the walls of the waveguide.*
- *If the relative error (which the individual discretization elements have contribution on) extent is known, it is possible to adaptively lower the solution error {using the continual dividing of the elements with the most significant error} **until** the required level of the solution error is reached.*

Finally, the last cohesive device category stated by Halliday and Hasan and discussed in Zapletalová's book, is lexical cohesion. In her chapter on lexical cohesion, she refers to a variety of different linguists and approaches. According to these approaches, she comments on the various claims stating their authors and comparing them (Zapletalová 2009: 94). For the purpose of this thesis, Chapter 3.4.3 on sense relations will be sufficient.

### **3.5.2. Intertextuality**

In their book on discourse, Goddard and Carey say that one of the constitutional ideas of genre is the assumption that the texts do not exist in isolation. There is a complex network of relationships instead. Because of these relationships, linguists speak about intertextuality – a reference between different texts (Goddard and Carey 2017: 22). Bazerman described six different levels of intertextuality and further discusses the techniques on how these levels can be recognized. The main levels of intertextuality according to Bazerman are:

1. The text can use prior texts as a source at original value
2. The text can use explicit social dramas
3. The text can use other statement as background, support or contrast
4. The text can be based on generally circulated beliefs, issues or ideas
5. By using recognizable kinds of language
6. Just by using language and its forms

Bazerman further describes how these levels of intertextuality can be recognized. He provides an overview on specific techniques sorted by their explicitness (Bazerman 2004: 86-89).

1. Direct quotation
2. Indirect quotation
3. Mentioning a person, document or statement
4. Comment on a statement, text, or otherwise invoked voice
5. Using recognisable phrasing, terminology associated with specific people or groups of people or particular documents

6. Using language and forms that seem to echo certain ways of communicating, discussions among other people, types of documents

In the analytical part of this section, let us identify the techniques that prof. Raida uses in his textbook and what their frequency can say about the intertextuality levels within the text according to Bazerman's publication. The discussed examples can be found in the lists below.

- *In Cartesian coordinate system, the (2.26) can be rewritten into the form...*
- *A **planar wave** has a **planar waveform** (a surface with the same **phase**).*
- *In the **waveguide**, the following types of **waves** can be **transmitted**: **transverse electric waves (TM)** or **transverse magnetic waves (TM)**.*

Although it was partly discussed in the lexical level of the analysis, the above mentioned points provide examples of Bazerman's fifth level of intertextuality together with its corresponding technique. The writer consistently uses specialised terminology (denoted in bold) and genres' characteristic phrasing throughout the whole textbook since he is adequately knowledgeable of the target group of his publication. It was already said that it is evident that the audience of such texts are mainly students, teachers or possibly even other researchers. This statement can be also supported by other outputs of the analysis in chapters 3.2.2 Vocabulary layers and 3.3.1 Sentence complexity.

- *The component of intensity of the magnetic field must be perpendicular to the component of the electric field and to the direction of the propagation. **Therefore**, the vector of the magnetic field intensity can be decomposed into the transverse component  $H_t$  and the longitudinal component  $H_z$ .*
- *There are contradictory requirements on the discretization network. Assuming the highest accuracy of the analysis results is demanded, the discretization network needs to be very thin. **Nevertheless**, this thin network consists of numerous discretization elements, and therefore has high calculation requirements.*

Numerous characteristic features of academic writing genre were discussed in the analysis already. The two complex structures mentioned in the list above are the direct evidence of the sixth technique that Bazerman is explaining in his publication. According to the outputs from the analysis of discourse markers in the previous chapter, it is evident that there are many instances of very specific types of language usage in the text. These discourse markers are indicators of pomposity, verbosity, technicality and authority as stated by Hartley in his book on academic writing approaches (Hartley 2008: 4).

Even though he supplied a list of references in the end of his textbook, notice that prof. Raida does not explicitly use any other form of intertextuality discussed by Bazerman in his

text. The absence of any other direct references supports the idea of accessibility of his text for a wider audience as there is no need to get acquainted with any other texts. On the other hand, though, this supports the fact that this textbook is rather a complementary tool for ordinary lessons as they serve as the carriers of intertextuality meanings. However, the above mentioned findings can be confirmed by Hartley's characteristics of academic writing, which are, among other things, appropriate in specific circumstances and easy for non-native speakers to follow (Harley 2008: 4).

With regard to the occurrence of allusions in the text, the writer undeniably assumes that the reader has excellent knowledge of mathematics as he uses many approaches which require a high degree of understanding. The writer further assumes the precedent knowledge of elementary phenomena which he elaborates subsequently. Thus, knowledge of these phenomena is crucial to proper understanding of the text. These phenomena include, for example, Maxwell equations. The writer obviously assumes that the reader has knowledge of Maxwell equations from different sources, and therefore, there is no need to provide further explanation on this phenomenon. Of course, this is not the first occurrence of Maxwell equations in this excerpt from the point of view of the whole textbook. There are other phenomena in the text which are presupposed to be acquainted with, but they are at least partly explained additionally. These include Delaunay discretization, Dirichlet discretization, Bowyer-Watson algorithm and Green-Sibson algorithm.

### **3.5.3. Discourse level analysis conclusion**

The findings from the analysis of discourse together with statements provided by cited works from different authors supply some solid evidence with regard to the translation successfulness by means of even deeper meanings preservation. The textbook in its translated form respects all the requisites that are placed on academic writing as a discourse.



## 4. Conclusion

This paper had four major goals. The first one was the translation of the chosen professional text with focus on electrical engineering. Translation undoubtedly requires a number of specific traits and directly exploits various techniques which are necessary for the translator to be acquainted with in order to provide a text meeting all requirements. Essentially, this means that there is not only the challenge of conversion of a text, but it is also expected that the differences across different cultures and their different manners of written language treatment must be converted. To prove the successfulness of supplied translation, an analysis of mentioned viewpoints was performed. Provision of such analysis was the second principal goal of this thesis. The analysis examined all the general levels of language – lexical, grammatical, semantic and discourse. Thanks to continuous referencing of a variety of language studies throughout the analysis, the subchapters maintained a dynamic character allowing an exemplification directly from the translated text. The third goal, including different sources and approaches in the analytical part, was crucial for the following comparison. The above mentioned dynamism is closely connected with the fourth main goal of the essay. The fourth goal was to assign the examples with the referenced phenomena. Sometimes it was not possible to address an example to the referenced theory. In most cases, it was simply because the analysed genre naturally does not employ these features (substitution or ellipsis for example).

There is one potential problem in the thesis preparation – the correct translation of the terminology. Since Chapter 3.2.1 and 3.4.4 showed that the original textbook employs a wide range of specialised terms, there is a possibility that some of them were not translated with respect to the real target language phenomena name. This occurred mainly because of very specific character of discussed phenomena in the textbook. Therefore, it was, in some cases, problematic to find materials with similar focus when searching for correct equivalents of strictly specialised terms. For this reason, there is an opportunity to conduct a further research on the used terminology together with a third-party review of the translation from the point of view of specialised vocabulary.

For the future students of translation, I strongly recommend the consistent use of all available sources and dictionaries in order to make as objective as possible comparison of the information provided. Based on the comparison, it is much easier to decide which of the equivalents is the most suitable. The best result when this approach is applied is then achieved by using English corpus. It is also beneficial for translators to become acquainted with the genre they are translating. This can easily be achieved by reading existing publications.

Since the analysis outputs rather confirmed the translation accuracy from a variety of viewpoints, the translated text can now be used as a legitimate study material for foreign students. The English version has all the characteristic features to be properly understood and easily followed by any foreign student or teacher.

## 5. Rozšířený abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje především na překlad odborného textu s důrazem na použitou terminologii. Primární motivací pro překlad technických textů je stále více aktuální fakt, že anglický jazyk v posledních letech drží pozici světového univerzálního komunikačního nástroje. Tento vývoj staví techniky a inženýry do pozice, kde je pro ně téměř nezbytné angličtinu alespoň na uživatelské úrovni znát. Značné množství textů v oborech napříč vědou a technikou se totiž produkuje pouze v anglickém jazyce, což také upevňuje jazyk na pozici tzv. lingua franca. Tyto texty se doslova ztotožnily se specifickým žánrem s pevně stanovenými pravidly a principy – akademickým psaním. Díky tomuto unifikovanému způsobu záznamu rešerší, studií a esejí je text jako studijní materiál snadno pochopitelný jak pro studenty a profesory, tak pro vědecké pracovníky nebo jiné zainteresované subjekty.

Vybraný text pojednává o problematice mikrovln a jejich zpracování v počítačových systémech a je výňatkem z učebnice CAD v mikrovlnné technice. Kniha se zaměřuje na počítačové modelování mikrovlnných vedení, obvodů a antén navržených pro centimetrová vlnová pásma s pracovní frekvencí od 0,9 do 10 GHz. Mezi známé standardy, které v centimetrovém vlnovém pásmu fungují, patří například Wi-Fi nebo GSM. Tento učební materiál vytvořil prof. Zbyněk Raida Dr. Ing, jehož odborným zaměřením je počítačové modelování mikrovlnných obvodů a antén, modelování komunikačních systémů, optimalizace a aplikace umělých neuronových sítí na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně. Jeho text dosud neobdržel anglický překlad.

Bakalářská práce sestává ze čtyř hlavních cílů. První, jak již bylo zmíněno, je překlad odborného textu s důrazem na použitou terminologii. Druhým cílem je vypracování podrobné jazykovědné analýzy. Následujícím úkolem je porovnání výstupů analýzy s charakteristickými znaky akademického stylu, což přímo navazuje na poslední cíl práce, kterým je znázornění těchto prvků a znaků na konkrétních příkladech z textu.

Práce se v první části zaměřuje na překlad technického textu s důrazem na všechny standardy a principy charakteristické pro kvalitní přetlumočení. Překlad jako takový bezpochyby vyžaduje některé specifické vlastnosti a cit pro detail. Po překladateli také požaduje dobrou obeznámenost s technikami překladu tak, aby byl schopen dodat text se všemi náležitostmi, které cílový jazyk skýtá. Toto v podstatě znamená, že nám nejde pouze o překlad na lexikální a gramatické úrovni, je totiž naprosto zásadním, aby se do výsledného překladu promítly i všechny náležité rysy, ve kterých se cílový jazyk odlišuje od zdrojového. Abych byl překlad správně zhodnocen a porovnán s těmito odlišnostmi, které při překladu vznikly, druhá část této bakalářské práce je věnována podrobné analýze. Analýza přeloženého textu se zabývá čtyřmi hlavními jazykovými disciplínami.

Druhá část práce se zabývá kompletní žánrovou analýzou textu ze čtyř stěžejních jazykovědných pohledů. Analytický rámec tedy stojí na čtyřech hlavních pilířích – lexikologii, skladbě (gramatice),

sémantice a pragmatice (diskurzu). Pro každou disciplínu má bakalářská práce svou vlastní kapitolu, kde se dále věnuje podmnožině jazykových rysů, jenž jsou charakteristické pro danou disciplínu. Jednotlivé kapitoly spolu se všemi svými podkapitolami postupně a dynamicky předkládají výňatky přímo z textu a na základě citovaných prací zhodnocuje jejich výskyt, případně správnost a charakterističnost užití v žánru akademického psaní.

V první jazykové úrovni analýzy se práce zabývá lexikologií. Zhodnocuje významné lexikologické prvky přeloženého textu. Hlavním cílem kapitoly je zjistit, zda překlad využívá lexikálních rysů charakteristických pro akademické psaní, eventuálně v jakém rozsahu se v překladu podařilo tyto rysy zohlednit. Kapitola je proto věnována specifikaci slovníku, který text využívá. Poskytuje také komentář k prolínání více vrstev slovní zásoby. Dalším záchytným bodem je zhodnocení podílu lexikálních a gramatických slov.

Úzce spojená s předchozí, avšak širěji uchopená úroveň analýzy je gramatická. Kapitola o gramatických náležitostech a vlastnostech zkoumá text z pohledu větné skladby a tvorby. V první části se zabývá složitostí vět spolu s nejčastěji používanými větnými typy. Druhá část hodnotí užití důrazových modifikátorů a gramatických ukazatelů formality textu.

V neposlední řadě je nutné text přezkoumat také z hlediska významů. Z tohoto důvodu analýza zařazuje kapitolu s komentářem o sémantických vlastnostech textu. Kapitola o sémantice má tři hlavní části. V první z těchto částí se zabývá explicitností textu a zhodnocuje přítomnost obrazných prvků. Druhá část se věnuje užití symbolů. Třetí, poslední část vyhrazuje místo pro komentář k lexikálním vztahům.

Závěrečná, pravděpodobně nejpodrobnější částí analýzy přináší pohled na diskurzivní vlastnosti přeloženého textu. Kapitola je tentokrát rozdělena pouze na dva klíčové body. První bod, který je velmi blízko spojený s poslední podkapitolou sémantické části analýzy, zkoumá přítomnost a funkci kohezních a spojovacích prostředků společně s diskurzivními ukazateli. Ve druhé části se analýza zaměřuje na intertextualitu (vztah mezi texty) a odkazy.

Struktura a celkové nahlížení na analytickou část bakalářské práce se odvíjí od jednoho klíčového zdroje. Tímto zdrojem je kniha *Academic Writing and Publishing* od Jamese Hartleyho. Ve své publikaci Hartley poskytuje podrobný popis charakteristických rysů a postupů akademického stylu psaní. Jednotlivé záchytné body z jeho díla jsou v analýze zohledněny a za pomoci dalších odborných zdrojů je ověřována přítomnost, četnost a případně i správnost užití prvků charakteristických právě pro akademické psaní. Pro maximální objektivitu každá kapitola zpravidla čerpá z jiného zdroje. Pokud je to možné, teoreticky citované jazykové jevy jsou pak vždy znázorněny na příkladech v průběhu celé analýzy.

Správně přeložený text společně s žánrovou analýzou zaměřenou především na kvalitu překladu a správné užití jazykových prvků by mohl sloužit jako vhodný studijní materiál pro budoucí zahraniční studenty.

## 6. List of references

Angela Goddard and Neil Carey (2017) *Discourse the basics*, 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN; 711 Third Avenue, New York, NY 10017: Routledge - Taylor & Francis Group, an informa business.

Charles Bazerman (2004) 'Intertextuality: How Texts Rely on Other Texts', in Charles Bazerman, Paul Prior (ed.) *What Writing Does and How It Does It*. 10 Industrial Avenue Mahwah, New Jersey 07430: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, pp. 86-89.

Gabriela Zapletalová (2009) *Academic Discourse and the Genre of Research Article*, Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici a Filozofická fakulta Ostravské univerzity v Ostravě.

James Hartley (2008) *Academic Writing and Publishing*, 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN: Routledge - Taylor & Francis e-Library, 2008.

John I. Saeed (1997) *Semantics*, 2nd edn., 350 Main Street, Malden, MA 02148-5020, USA; 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK; 550 Swanson Street, Carlton, Victoria 3053, Australia: Blackwell Publishing Ltd.

John M. Swales (1990) *Genre analysis*, 4th edn., The Pitt Building, Trumpington Street, Cambridge CB2 1RP, United Kingdom: The Press Syndicate of The University of Cambridge.

Maeve Olohan (2016) *Scientific and Technical Translation*, 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN: Routledge - Taylor & Francis e-Library, 2008.

Michael Alexander Kirkwood Halliday, Ruqaiya Hasan (1976) *Cohesion in English*, London: Longman Group Ltd.

Ronald Carter and Angela Goddard (2016) *How to Analyse Texts*, 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN: Routledge - Taylor & Francis e-Library, 2008.

### 6.1. Online references

“Analyze My Writing.” [Www.Analyzemywriting.Com, www.analyzemywriting.com/](http://www.analyzemywriting.com/). (Accessed: 16<sup>th</sup> March 2020).

“Cambridge Dictionary | English Dictionary, Translations & Thesaurus.” [Cambridge.Org](http://Cambridge.Org), 2019, [dictionary.cambridge.org/](http://dictionary.cambridge.org/).

“Dictionary.Com - The World’s Favorite Online Dictionary!” [Dictionary.Com](http://Dictionary.Com), 2018, [www.dictionary.com/](http://www.dictionary.com/).

“Ellipsis - English Grammar Today - Cambridge Dictionary.” *Dictionary.Cambridge.Org*, [dictionary.cambridge.org/grammar/british-grammar/ellipsis](https://dictionary.cambridge.org/grammar/british-grammar/ellipsis) (Accessed 19<sup>th</sup> April 2020).

“Formal and Informal Language - English Grammar Today - Cambridge Dictionary.” *Dictionary.Cambridge.Org*, [dictionary.cambridge.org/grammar/british-grammar/formal-and-informal-language](https://dictionary.cambridge.org/grammar/british-grammar/formal-and-informal-language) (Accessed: 12<sup>th</sup> April 2020).

“Fronting - English Grammar Today - Cambridge Dictionary.” *Dictionary.Cambridge.Org*, [dictionary.cambridge.org/grammar/british-grammar/fronting](https://dictionary.cambridge.org/grammar/british-grammar/fronting) (Accessed: 5<sup>th</sup> May 2020)

“Substitution - English Grammar Today - Cambridge Dictionary.” *Dictionary.Cambridge.Org*, [dictionary.cambridge.org/grammar/british-grammar/substitution](https://dictionary.cambridge.org/grammar/british-grammar/substitution). (Accessed: 19<sup>th</sup> April 2020)

Christine Bauer-Ramazani (January 4, 2013) *Techniques of SENTENCE COMBINATION DISCOURSE MARKERS in ENGLISH SENTENCES*, Available at: <http://academics.smcvt.edu/cbauer-ramazani/IEP/writ/discmarkers.htm> (Accessed: 19<sup>th</sup> May 2020).

Michal Novák, Petra Langerová (2006) *Anglicko - český / česko - anglický slovník matematické terminologie*. [Online]. Available at: [http://www.umat.feec.vutbr.cz/~novakm/cesko\\_anglicky\\_slovník\\_matematicke\\_terminologie.pdf](http://www.umat.feec.vutbr.cz/~novakm/cesko_anglicky_slovník_matematicke_terminologie.pdf) (Accessed: 25<sup>th</sup> March 2019).

## 7. Original text

### 2.3 Testovací struktury

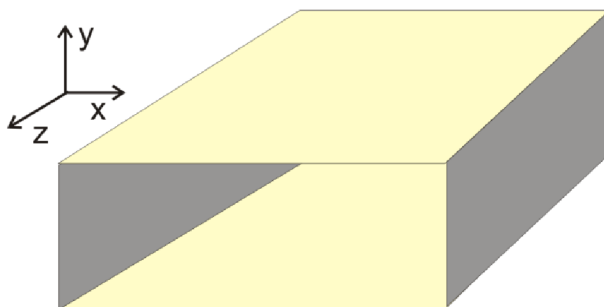
Pokud vyvíjíme algoritmus numerického řešení Maxwellových rovnic, je vhodné funkčnost algoritmu ověřit analýzou struktury, u níž známe analytické řešení. Testovací struktura by měla být co nejjednodušší, aby bylo možno identifikovat případné chyby algoritmu.

K testování numerických metod využijeme v rámci naší učebnice nekonečně dlouhý obdélníkový válec, znázorněný na obr. 2.6:

- Přední a zadní stěna testovací struktury se chovají jako *otevřený prostor*. Používáme-li testovací strukturu jako vlnovod, šíří se ve směru osy  $z$  netlumená postupná vlna. Amplituda intenzity pole ve směru  $z$  je tedy neměnná.

Ve směrech  $x$  a  $y$  vznikne skládáním odrazů vln mezi stěnami stojaté vlnění. Amplituda intenzity pole tedy závisí na příčných souřadnicích  $x$  a  $y$ . Jsou-li všechny stěny dokonale elektricky vodivé, musí být podélná složka intenzity elektrického pole na stěnách nulová  $E_z = 0$ .

- Nastavíme-li horní a dolní stěnu testovací struktury (žluté desky) na okrajovou podmínku typu *otevřený prostor*, vznikne soustava dvou rovnoběžných nekonečně rozlehlých rovinných ploch (šedé desky). V případě elektrostatickém můžeme takovou strukturu chápat jako deskový kondenzátor sestávající z nekonečných elektrod.



Obr. 2.6 Testovací struktura pro ověření funkčnosti  
algoritmů numerického řešení Maxwellových rovnic v diferenciálním tvaru.

Uvažujeme-li šíření vlny ve směru osy  $z$ , soustavu nekonečných rovnoběžných desek označujeme jako vlnovod *parallel plate*. Stojaté vlnění v tomto vlnovodu vzniká pouze mezi šedými deskami. Jelikož jsme žluté desky nahradili volným prostorem, nemůže docházet ve směru  $y$  ke vzniku odražených vln a k jejich skládání.

#### 2.3.1 Elektrostatický problém

Nejprve se zaměříme na elektrostatický testovací problém. Elektrostatické pole je tvořeno náboji, jejichž velikost a pozice jsou v čase neměnné. V Maxwellových rovnicích jsou tedy všechny časové derivace nulové.

Elektrickou složku pole popisují Maxwellovy rovnice (2.11) a (2.12). Uvažme nulovou magnetickou indukci (magnetické pole je vybuzeo pohybem elektronů, který *máme zakázány*). Potom lze (2.11) přepsat do tvaru

$$\mathbf{0} = \nabla \times \mathbf{E} = \nabla \times (-\nabla \varphi) \quad (2.24)$$

Při psaní (2.24) jsme využili skutečnosti, že rotace gradientu libovolné skalární funkce je identicky rovna nule. Položíme-li tedy

$$\mathbf{E} = -\nabla\varphi \quad (2.25)$$

je Maxwellova rovnice identicky splněna a prostorové rozložení elektrického pole je charakterizováno jedinou skalární veličinou  $\varphi$  (elektrickým potenciálem).

Elektrický potenciál (2.25) dosadíme do (2.12)

$$\nabla \cdot (\varepsilon \mathbf{E}) = \varepsilon \nabla \cdot \mathbf{E} = \varepsilon \nabla \cdot (-\nabla\varphi) = -\varepsilon \nabla^2 \varphi = \rho \quad (2.26)$$

kde  $\rho$  je objemová hustota volného náboje v analyzované oblasti a  $\varepsilon$  je permitivita této oblasti. Při odvození uvedeném v (2.26) jsme předpokládali, že permitivita  $\varepsilon$  je ve všech místech analyzované oblasti je stejná. Potom můžeme konstantu  $\varepsilon$  vytknout před derivaci reprezentovanou operátorem  $\nabla$ .

V kartézském souřadném systému můžeme (2.26) přepsat do tvaru

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon} \quad (2.27)$$

Sestává-li testovací struktura pouze ze dvou paralelních nekonečně rozlehlých elektrod (šedé stěny v obr. 2.6), potenciál  $\varphi$  se mění pouze ve směru  $x$  a (2.27) přejde do tvaru

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon} \quad (2.28)$$

Při ověřování funkčnosti metod numerického řešení parciálních diferenciálních rovnic popisujících elektrostatický problém budeme vycházet právě ze vztahů (2.27) a (2.28).

### 2.3.2 Dynamický problém

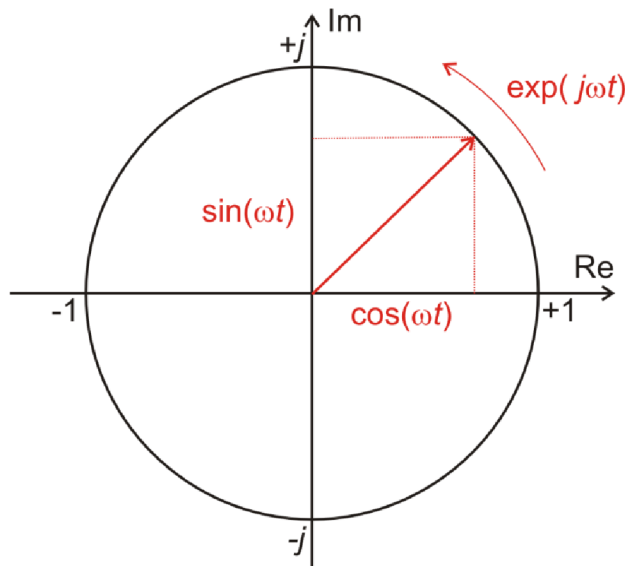
Nyní předpokládejme, že se elektromagnetické veličiny harmonicky mění. Časovou změnu těchto veličin lze popsat otáčením fázorů  $\mathbf{E}(\mathbf{r})$  a  $\mathbf{H}(\mathbf{r})$  v komplexní rovině

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}(\mathbf{r}) \exp(j\omega t) \quad (2.29a)$$

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{H}(\mathbf{r}) \exp(j\omega t) \quad (2.29b)$$

Fázory  $\mathbf{E}(\mathbf{r})$  a  $\mathbf{H}(\mathbf{r})$  nesou informaci o amplitudě intenzit v bodě  $\mathbf{r} = \mathbf{r}(x, y, z)$  a počáteční fázi intenzit v čase  $t = t_0$ . Časovou změnu intenzit polí reprezentuje člen  $\exp(j\omega t)$ . Tento člen je komplexní funkcí, jejíž velikost je jednotková a jejíž fáze  $\omega t = (2\pi/T)t$  se změní během periody  $T$  o  $2\pi$  radiánů (obr. 2.7).





Obr. 2.7 Reprezentace harmonické změny intenzit polí otáčením fázoru v komplexní rovině.

Nejprve se zaměříme na šíření rovinné elektromagnetické vlny volným prostorem:

- Rovinná vlna má planární vlnoplochu (plochu se stejnou fází).
- Vlnoplocha je kolmá ke směru šíření vlny.
- Vektor intenzity elektrického pole  $\mathbf{E}$  a vektor intenzity magnetického pole  $\mathbf{H}$  jsou kolmé ke směru šíření vlny, a současně jsou na sebe kolmé navzájem.
- Rovinná vlna mění ve směru šíření pouze svou fázi; amplituda je v bezztrátovém vlnném prostoru ve směru šíření konstantní.

Předpokládejme, že vlnoplocha leží v rovině  $xy$  a vlna se šíří ve směru osy  $z$  kartézského souřadného systému. Uvažujeme-li harmonický zdroj pole, který generuje vlnu s úhlovým kmitočtem  $\omega$ , budou okamžité hodnoty intenzit polí  $\mathbf{E}(x, y, z, t)$  a  $\mathbf{H}(x, y, z, t)$  harmonickými funkcemi času  $\exp(j\omega t)$  a harmonickými funkcemi prostorové souřadnice ve směru šíření  $\exp(-jkz)$ . Zatímco úhlový kmitočet vyjadřuje změnu fáze za jednotku času  $\omega = 2\pi/T$ , vlnové číslo je změnou fáze na jednotce délky  $k = 2\pi/\lambda$ :

- Symbol  $T$  je časová perioda harmonického signálu. Za periodu se fáze signálu změní o  $2\pi$  radiánů.
- Symbol  $\lambda$  značí vlnovou délku (prostorovou periodu signálu). Na vlnové délce se fáze signálu opět změní o  $2\pi$  radiánů.

Okamžitou hodnotu intenzity pole lze tedy vyjádřit vztahem

$$\mathbf{E}(x, y, z, t) = \mathbf{E}(x, y) \exp[j(\omega t - kz)] \quad (2.30)$$

Při numerickém modelování šíření vlny předpokládáme, že jsme ve velké vzdálenosti od zdrojů vlnění. Při šíření vlny je časová změna elektrické složky pole svázána s prostorovou změnou pole magnetického

$$\nabla \times \mathbf{H} = \gamma \mathbf{E} + j\omega \epsilon \mathbf{E} \quad (2.31)$$

a časová změna magnetické složky pole je svázána s prostorovou změnou pole elektrického

$$\nabla \times \mathbf{E} = -j\omega \mu \mathbf{H} \quad (2.32)$$

Jelikož pole analyzujeme v oblasti mimo vliv zdrojů, třetí a čtvrtou Maxwellovi rovnici (2.12) a (2.13) nemusíme do řešení problému zahrnovat. Nicméně, vypočítané elektromagnetické pole musí těmito rovnicím vyhovovat. Jelikož (2.12) a (2.13) popisují nulovou divergenci vektoru elektrické indukce  $\mathbf{D}$  (za podmínky nulové prostorové hustoty elektrického náboje  $\rho$ ), a nulovou divergenci vektoru indukce magnetické  $\mathbf{B}$ , mluvíme o splnění tzv. *divergence-free conditions*.

Jelikož  $\mathbf{E}$  a  $\mathbf{H}$  jsou fázory, můžeme při psaní (2.31) a (2.32) nahradit časovou derivaci násobením členem  $-j\omega$ , kde  $\omega$  značí úhlový kmitočet. Za vektory elektrické indukce a magnetické indukce jsme dosadili z materiálových vztahů  $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$  a  $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ . Za plošnou hustotu vodivého proudu  $\mathbf{J}$  jsme dosadili z Ohmova zákona v diferenciálním tvaru

$$\mathbf{J} = \gamma \mathbf{E} \quad (2.33)$$

kde  $\gamma$  [S/m] značí měrnou vodivost prostředí.

Vektorové rovnice (2.31) a (2.32) můžeme rozepsat do šesti skalárních rovnic pro šest neznámých  $E_x, E_y, E_z, H_x, H_y$  a  $H_z$ . Abychom počet rovnic a počet neznámých redukovali, aplikujeme na obě strany rovnice (2.31) operátor rotace

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = (\gamma + j\omega\varepsilon)(\nabla \times \mathbf{E}) \quad (2.34)$$

a za rotaci elektrického pole na pravé straně rovnice (2.34) dosadíme ze vztahu (2.32)

$$\nabla \cdot (\nabla \cdot \mathbf{H}) - \nabla^2 \mathbf{H} = -j\omega\mu(\gamma + j\omega\varepsilon)\mathbf{H} \quad (2.35)$$

Levou stranu rovnice (2.35) přitom rozepíšeme dle identity

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = \nabla \cdot (\nabla \cdot \mathbf{H}) - \nabla^2 \mathbf{H}$$

Jelikož podle čtvrté Maxwellovy rovnice (2.13) je divergence vektoru magnetické indukce nulová, bude nulový i první člen na levé straně (2.35) a rovnice (2.35) přejde do tvaru vlnové rovnice

$$\nabla^2 \mathbf{H} + k^2 \mathbf{H} = \mathbf{0} \quad (2.36)$$

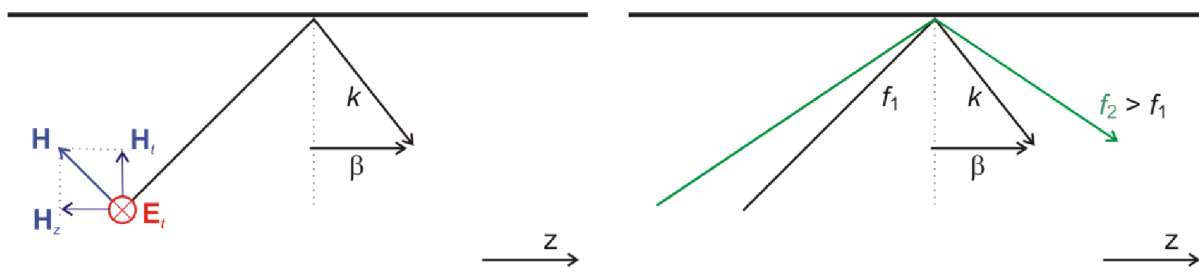
kde

$$k^2 = -j\omega\mu(\gamma + j\omega\varepsilon) \quad (2.37)$$

je vlnové číslo.

Nyní přejdeme od šíření vlny volným prostorem k šíření vlny vlnovodem. Jak jsme již naznačili výše, šíření vlny ve směru osy vlnovodu lze chápat jako výsledek skládání vln odražených od stěn vlnovodu (obr. 2.8).

Vlnovodem se mohou šířit vlny příčně elektrické (*transversally electric*, TE) nebo příčně magnetické (*transversally magnetic*, TM).



Obr. 2.8 Šíření vlny vlnovodem: příčně elektrická vlna (vlevo), změna úhlu dopadu při změně kmitočtu vlny (vpravo).

Příčně elektrická vlna je nakreslena na obr. 2.8 vlevo. Rovinná vlna odrážející se od stěn vlnovodu má složku intenzity elektrického pole rovnoběžnou se stěnou odrazu. Podélná složka intenzity elektrického pole je tedy nulová  $E_z = 0$ . Složka intenzity magnetického pole musí být kolmá na složku pole elektrického a na směr šíření. Vektor intenzity magnetického pole lze pak rozložit na složku příčnou  $\mathbf{H}_t$  a na složku podélnou  $H_z$ . Lze ukázat, že příčně elektrická vlna je jednoznačně popsána podélnou složkou intenzity magnetického pole  $H_z$ .

Příčně magnetickou vlnu bychom dostali záměnou intenzit elektrického a magnetického pole v obr. 2.8 vlevo. Příčně magnetická vlna je jednoznačně popsána podélnou složkou intenzity elektrického pole  $E_z$ .

Konstantu šíření elektromagnetické vlny ve směru podélné osy vlnovodu označme symbolem  $\beta$  [rad/m]. Konstanta  $\beta$  určuje změnu fáze vlny na metru délky ve směru podélné osy vlnovodu. Jedná se tedy o průmět vlnového vektoru  $\mathbf{k}$  do směru podélné osy vlnovodu. Vlnový vektor má velikost vlnového čísla rovinné vlny a jeho směr je identický se směrem šíření rovinné vlny.

Podélnou složku intenzity magnetického pole tedy můžeme pro vlnovod vyjádřit jako

$$H_z(x, y, z, t) = H_z(x, y) \exp[-j\beta z] \quad (2.38)$$

Dosazením (2.38) do vlnové rovnice (2.36) pak dostáváme

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial y^2} + (k^2 - \beta^2) H_z = 0 \quad (2.39)$$

Pokud snižujeme kmitočet vlny (obr. 2.8 vpravo), elektromagnetická vlna dopadá na stěnu vlnovodu pod stále menším úhlem. Konstanta šíření rovinné vlny  $k$  se nemění a konstanta šíření vlny ve směru podélné osy vlnovodu  $\beta$  se zmenšuje. Dosáhneme-li kritického kmitočtu, vlna dopadá na stěnu vlnovodu kolmo a konstanta šíření ve směru podélné osy je nulová

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial y^2} + k_{kr}^2 H_z = 0 \quad (2.40)$$

Uvážíme-li, že kritické vlnové číslo můžeme vyjádřit jako

$$k_{kr} = \frac{2\pi}{\lambda_{kr}} = \frac{2\pi}{c} f_{kr} \quad (2.41)$$

můžeme z (2.40) určit kritický kmitočet vlnovodu. Ve vztahu (2.41) značí  $c$  rychlost světla ve volném prostoru s parametry vakua.

Problém (2.40) nazýváme problémem vlastních čísel. Řešení rovnice (2.40) hledáme ve formě uspořádaných dvojic  $[k_{kr}, H_z]$ . Znamená to, že ke každému kritickému vlnovému číslu hledáme odpovídající rozložení pole. Uspořádané dvojice odpovídají vidům, které se mohou vlnovodem šířit. Každý vid je charakterizován jiným kritickým vlnovým číslem a jiným rozložením pole.

Počítáme-li příčně magnetické vidy, které se mohou vlnovodem šířit, zaměníme (2.40) za vztah

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + k_{kr}^2 E_z = 0 \quad (2.42)$$

Rovnice (2.42) je formálně shodná s rovnicí (2.40). Rozdíl však spočívá v okrajových podmínkách. Jsou-li stěny vlnovodu dokonale elektricky vodivé, musí  $H_z$  na plášti vlnovodu splňovat Neumannovu podmínku a  $E_z$  podmínku Dirichletovu.

Známe-li rozložení podélných složek pole v příčném řezu vlnovodem, můžeme snadno vypočít složky příčné. V případě příčně elektrického vidu rozepíšeme vztah (2.31) pro příčné složky intenzity elektrického pole  $E_x$  a  $E_y$

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = \gamma E_x + j\omega\varepsilon E_x \quad (2.43a)$$

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = \gamma E_y + j\omega\varepsilon E_y \quad (2.43b)$$

Předpokládáme-li bezztrátové prostředí ve vlnovodu, je objemová hustota volného náboje  $\gamma$  nulová. Ve směru osy  $y$  se pak šíří netlumená harmonická vlna, takže derivace složky intenzity magnetického pole podle  $z$  je nulová. Dostáváme tedy:

$$E_x \approx \frac{\partial H_z}{\partial y} \quad (2.44a)$$

$$E_y \approx \frac{\partial H_z}{\partial x} \quad (2.44b)$$

Pro příčné složky intenzity magnetického pole lze psát:

$$H_x \approx \frac{\partial H_z}{\partial x} \quad (2.44c)$$

$$H_y \approx \frac{\partial H_z}{\partial y} \quad (2.44d)$$

Analogický postup lze aplikovat na výpočet příčných složek vidu příčně magnetického. Výsledkem je

$$H_x \approx \frac{\partial E_z}{\partial y} \quad (2.45a)$$

$$H_y \approx \frac{\partial E_z}{\partial x} \quad (2.45b)$$

$$E_x \approx \frac{\partial E_z}{\partial x} \quad (2.45c)$$

$$E_y \approx \frac{\partial E_z}{\partial y} \quad (2.45d)$$

Vlna uvnitř vlnovodu je tak kompletně popsána.

## 2.4 Shrnutí

V této kapitole jsme si stručně zopakovali základní principy, na nichž jsou založeny Maxwellovy rovnice. Tyto rovnice jsme následně využili k popisu elektrostatické testovací struktury a dynamické testovací struktury. Obě struktury využijeme k ověření funkčnosti a přesnosti numerických metod řešení Maxwellových rovnic, jimiž se budeme zabývat v následujících kapitolách.

### 3 Numerické řešení Maxwellových rovnic

Maxwellovy rovnice umíme řešit analyticky pouze pro velmi jednoduché struktury, jako je např. nekonečně dlouhý vlnovod obdélníkového či kruhového průřezu. U struktur komplikovanějších musíme Maxwellovy rovnice řešit numericky.

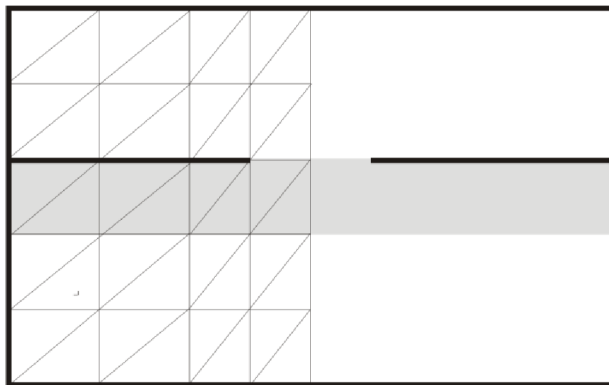
V následujících odstavcích se zaměříme na numerické řešení Maxwellových rovnic v diferenciálním tvaru. Numerické řešení rovnic integrálních je totiž mnohem komplikovanější.

Stručně si popíšeme základní kroky, z nichž numerická analýza sestává.

#### 3.1 Diskretizace analyzované struktury

Analyzovanou strukturu rozdělíme na diskretizační prvky, které se vzájemně nepřekrývají. Diskretizační prvky přitom musejí současně zahrnovat všechny body analyzované struktury.

V případě podélně homogenního ploutvového vedení (obr. 3.1) je zapotřebí diskretizační sítě pokrýt celý průřez analyzované struktury. Diskretizační prvky jsou tudíž dvojrozměrné (trojúhelníky). Vedení označujeme jako podélně homogenní, pokud se jeho vlastnosti v podélném směru nemění (vedení je nekonečně dlouhé a každý příčný průřez je stejný).

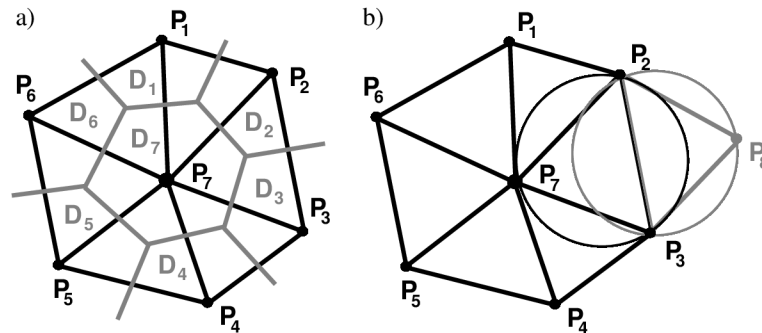


Obr. 3.1 Příčný průřez ploutvového vedení a jeho diskretizace obdélníkovými prvky.

Na diskretizační síť jsou kladeny protichůdné požadavky. Chceme-li dosáhnout co možná nejvyšší přesnosti výsledků analýzy, musí být diskretizační síť hodně jemná. Jemná síť ovšem sestává z velkého počtu diskretizačních prvků, a tudíž vykazuje velmi vysoké výpočetní nároky. Proto je výhodné využít všech symetrií analyzované struktury a počítat vždy jen její část [3.3].

Vhodná diskretizace struktury je vzhledem k uvedeným protichůdným požadavkům obtížným úkolem. Vývoj automatických generátorů diskretizačních sítí se stává velmi důležitou disciplínou v rámci numerického modelování mikrovlnných struktur.

Pro generování diskretizačních sítí u dvoj- a trojrozměrných struktur se velmi často používá tzv. Delaunayho diskretizace [3.15], [3.16]. V případě dvojrozměrných struktur hovoříme o Delaunayho triangularizaci.



Obr. 3.2 Vlastnosti Delaunayho triangularizace: a) Dirichletova diskretizační síť (šedá) a Delaunayho diskretizační síť (černá), b) opsané kružnice ne-obsahují žádný bod  $P$ .

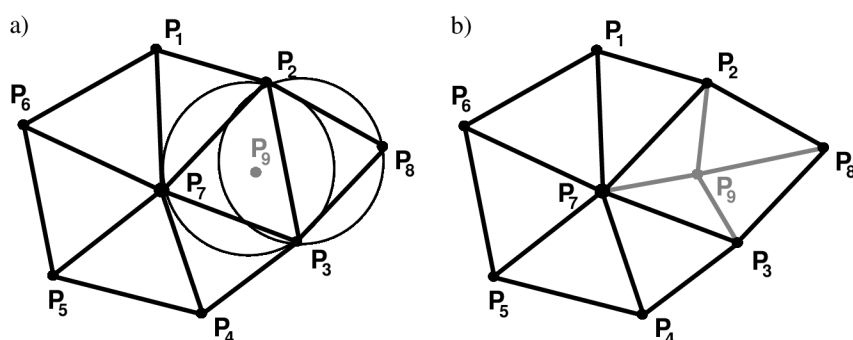
Úkolem triangularizace je pokrýt prostor, v němž je dán určitý počet bodů  $P$ , vzájemně se nepřekrývajícími trojúhelníky, jejichž vrcholy leží v daných bodech  $P$  a jejichž plocha pokrývá celý diskretizovaný prostor. Tento úkol lze splnit mnoha různými způsoby. Delaunayho triangularizace mezi nimi vyniká následujícími specifickými vlastnostmi [3.16]:

- Hrany Delaunayho trojúhelníků spojují takové body  $P_i$  a  $P_j$ , které patří sousedním diskretizačním prvkům  $D_i$  a  $D_j$  Dirichletovy diskretizace<sup>1</sup>. Jak je ukázáno na obr. 3.2a, hrany Delaunayho trojúhelníků vždy protínají společnou hranici dvojice sousedních Dirichletových diskretizačních prvků.
- Žádný z bodů  $P$  neleží uvnitř kružnice opsané libovolnému Delaunayho prvku diskretizační sítě. Jak je vidět na obr. 3.2b, kružnice opsaná Delaunayho trojúhelníku  $P_2 P_3 P_7$  neobsahuje žádný ze sousedních bodů  $P_1, P_4, P_8$ , a dále, kružnice opsaná Delaunayho trojúhelníku  $P_2 P_3 P_8$  neobsahuje žádný ze sousedních bodů  $P_1, P_4, P_7$ .
- Nejmenší úhly Delaunayho trojúhelníků jsou největší ve srovnání s nejmenšími úhly všech možných ostatních triangularizací (získáváme velmi dobře tvarované prvky bez velmi ostrých úhlů).

Při generování Delaunayho sítě se obvykle využívá jeden ze tří následujících postupů:

- **Bowyerův-Watsonův algoritmus.** Algoritmus vychází z existující hrubé Delaunayho sítě, do níž se postupně vkládají další body. U vloženého bodu zjišťujeme, které kružnice opsané stávajícím prvkům jej obsahují. Společná hranice takových prvků je vymazána a nový bod je napojen na body existující (obr. 3.3).
- **Greenův-Sibsonův algoritmus** je podobný Bowyerovu-Watsonovu algoritmu (postupné vkládání bodů, testování opsanými kružnicemi). V prvním kroku se vložený bod spojí s vrcholy toho trojúhelníku, na jehož ploše se bod nachází (pro síť z obr. 3.3 by došlo k rozdělení trojúhelníku  $P_2 P_3 P_7$  na trojúhelníky  $P_2 P_7 P_9$ ,  $P_3 P_7 P_9$  a  $P_2 P_3 P_9$ ). Pokud všechny tři nové trojúhelníky vyhovují Delaunayho kritériu, je zjemňování ukončeno. V opačném případě je třeba provést modifikaci sítě. V naší situaci by byla odstraněna hrana  $P_2 P_3$  a byla by nahrazena hranou  $P_8 P_9$ . Výsledek by byl tedy stejný jako při použití Bowyerova-Watsonova algoritmu.
- **Delaunayho triangularizace postupující fronty** na rozdíl od předchozích dvou algoritmů nevychází z existující hrubé sítě. Síť je postupně budována od okrajů diskretizované struktury směrem dovnitř, a to tak, aby byly splněny všechny požadavky definující Delaunayho síť.

<sup>1</sup> Dirichletova (nebo Voronoiova)  $i$ -tá diskretizační buňka  $D_i$  je definována jako množina bodů, jejichž vzdálenost od bodu  $P_i$  je menší nebo rovna vzdálenosti od všech ostatních bodů  $P_j$  (viz obr. 3.2).



Obr. 3.3 Bowyerův-Watsonův algoritmus pro generování Delaunayho trojúhelníkové sítě:  
a) testování opsanými kružnicemi, b) zjemnění sítě.

Postup zjemňování sítě aplikovaný na analýzu podélně homogenních vedení metodou diskretizačních prvků byl popsán v [3.4]. Postup byl založen na výpočtu reakce elektromagnetického pole  $a$  na zdroje pole  $b$ <sup>1</sup>

$$\langle a, b \rangle = \int_{\Omega} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^b - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^b] d\Omega \quad (3.1)$$

Ve vztahu (3.1) značí  $\mathbf{J}$  a  $\mathbf{M}$  vektory elektrické a magnetické proudové hustoty,  $\mathbf{E}$  a  $\mathbf{H}$  jsou vektory intenzit elektrického a magnetického pole a  $\Omega$  značí prostor, který analyzujeme.

Jelikož v rezonanci (v ustáleném harmonickém stavu) elektromagnetické pole kmitá i bez přítomnosti zdrojů, musí být reakce pole na libovolný zdroj nulová [3.4]<sup>2</sup>

$$\langle a, a \rangle = \int_{\Omega} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^b - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^b] d\Omega = 0 \quad (3.2)$$

Strukturu analyzujeme dvakrát. Jednou vycházíme z formulace založené na intenzitách elektrického pole a jednou využíváme formulaci, v níž vystupují pouze intenzity pole magnetického. Dále dosadíme za zdroje v (3.2) z Maxwellových rovnic [1.4]

$$\mathbf{J}^a = \nabla \times \mathbf{H}^a - j\omega\epsilon \mathbf{E}^a \quad (3.3a)$$

$$\mathbf{M}^a = -[\nabla \times \mathbf{E}^a + j\omega\mu \mathbf{H}^a] \quad (3.3b)$$

Ve vztazích (3.3) značí  $\omega$  úhlový kmitočet,  $\epsilon$  je permitivita a  $\mu$  permeabilita prostoru, v němž se analýza provádí.

Nyní můžeme vypočítat relativní chybu, kterou způsobuje  $n$ -tý prvek diskretizační sítě [1.4]

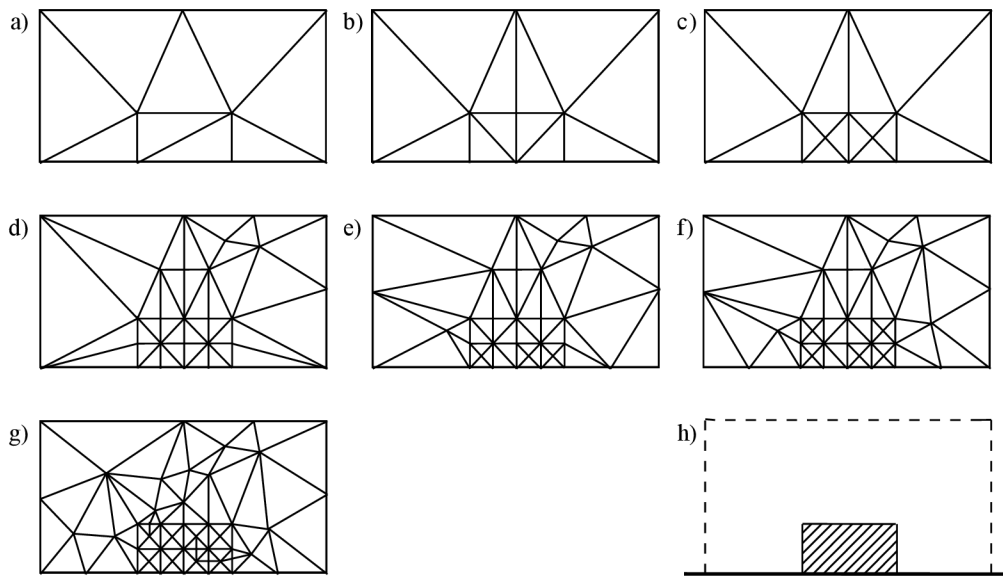
<sup>1</sup> Součin intenzity vytvořeného elektrického pole a hustoty zdrojového elektrického proudu (první člen výrazu) vyjadřuje hustotu výkonu vnějších elektrických zdrojů. Součin intenzity vytvořeného magnetického pole a zdrojového magnetického proudu vyjadřuje hustotu výkonu vnějších magnetických zdrojů. Rozdíl obou členů pak dává celkovou hustotu výkonu vnějších zdrojů. Integraci přes oblast  $\Omega$  pak získáme celkový výkon vnějších zdrojů elektromagnetického pole [3.20].

<sup>2</sup> Elektromagnetické pole obsahuje pouze vírové složky. Energie se přelévá mezi elektrickým polem a polem magnetickým. Pole kmitá, i když je celkový výkon vnějších zdrojů elektromagnetického pole nulový [3.20]. To samozřejmě platí jen v případě, kdy je prostředí, v němž pole kmitá, je bezztrátové. Ztráty by kmitý postupně utlumily.

$$\delta_n = \frac{\left\| \int_{\Omega_n} [\mathbf{E}^a \cdot \mathbf{J}^a - \mathbf{H}^a \cdot \mathbf{M}^a] d\Omega \right\|}{\omega \int_{\Omega_n} \left[ \frac{1}{2} \varepsilon \|\mathbf{E}^a\|^2 + \frac{1}{2} \mu \|\mathbf{H}^a\|^2 \right] d\Omega} \quad (3.4)$$

kde  $\Omega_n$  značí prostor  $n$ -tého diskretizačního prvku a význam ostatních symbolů je týž, jako v předchozím.

Integrál v čitateli (3.4) by měl být nulový, protože reakce pole na libovolný zdroj musí být v ustáleném harmonickém stavu nulová. Pokud se při numerické analýze dopustíme chyby v určení rozložení elektromagnetického pole, bude čítec nenulový. Jelikož integrujeme v čitateli nad plochou  $n$ -tého diskretizačního prvku  $\Omega_n$ , je čítec úměrný příspěvku  $n$ -tého prvku k celkové absolutní chybě řešení. Výraz ve jmenovateli odpovídá celkové energii elektromagnetického pole na ploše  $n$ -tého prvku (opět integrujeme přes  $\Omega_n$ ). Podíl (3.4) dává relativní chybu řešení způsobenou  $n$ -tým prvkem.



Obr. 3.4 Postupné zjemňování diskretizační sítě (a až g) při analýze dielektrického vlnovodu na kovové zemi desce (h) metodou konečných prvků. Ke zjemňování sítě bylo použito Delaunayho triangularizace ve spojení s reakčním konceptem. Obrázek je převzat z [3.4].

Známe-li velikost relativní chyby, kterou se na celkové chybě podílejí jednotlivé diskretizační prvky, můžeme jemnějším dělením prvků s největší chybou adaptivně snižovat chybu řešení tak dlouho, dokud nedosáhneme požadované úrovně chyby řešení.

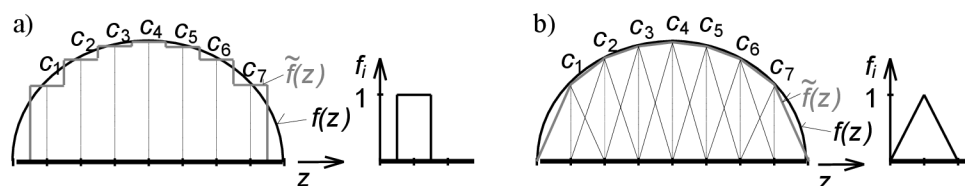
Dosud jsme se zabývali pouze generováním dvojrozměrných trojúhelníkových diskretizačních sítí. Popsaný postup však lze relativně snadno zobecnit i na generování trojrozměrných diskretizačních sítí sestávajících ze čtyřtětů jako diskretizačních prvků [3.15], [3.16].



## 3.2 Formální aproximace hledané veličiny

Nyní, když je analyzovaná struktura pokryta kvalitní diskretizační sítí, můžeme přistoupit k dalšímu kroku numerické analýzy. Tímto krokem je formální aproximace<sup>1</sup> průběhu počítané veličiny pole nad každým prvkem diskretizační sítě. Formální aproximaci sestavujeme ze známých báзовých funkcí  $f_i$ , které násobíme neznámými aproximačními koeficienty  $c_i$ . Nejčastěji se používají báзовé funkce, které mají nad diskretizačním prvkem konstantní (obr. 3.5a), lineární (obr. 3.5b) nebo kvadratický průběh.

Aproximace je formální z toho důvodu, že průběh aproximované veličiny neznáme (neznáme aproximační koeficienty  $c_i$ ). Naším úkolem je aproximační koeficienty určit tak, aby získaná aproximační funkce co možná nejpřesněji splňovala Maxwellovy rovnice aplikované na popis analyzované struktury.



Obr. 3.5 Formální aproximace hledané veličiny:  
a) po částech konstantní, b) po částech lineární.

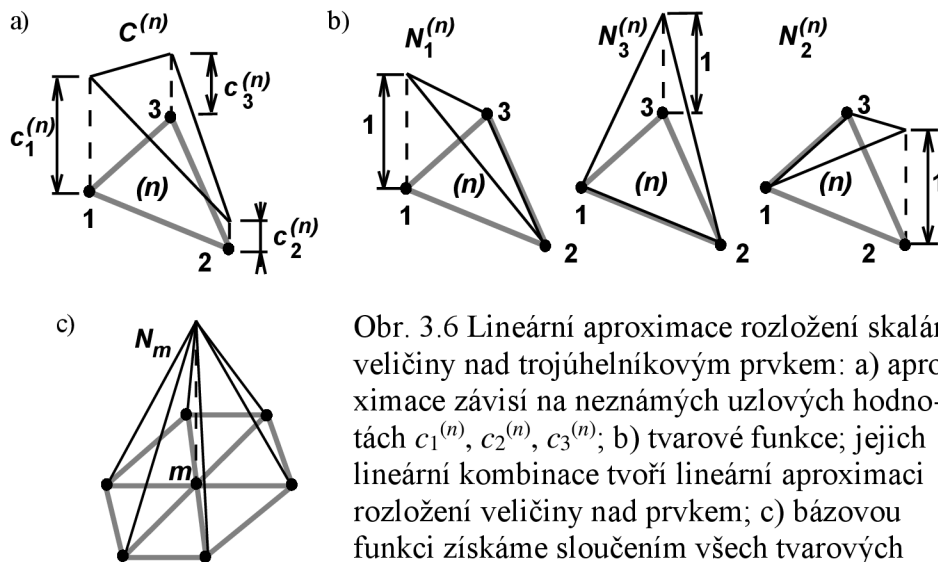
Nejčastěji používanými báзовými funkcemi bývají funkce lineární. Aby bylo dosaženo korektní aproximace elektromagnetického pole na rozhraní dvou diskretizačních prvků, byly vyvinuty speciální typy báзовých funkcí, které mají vektorový charakter nebo které kombinují skalární a vektorové báзовé funkce.

V následujících několika odstavcích si stručně popíšeme dva typy báзовých funkcí. Nejprve to budou nejjednodušší uzlové funkce, které se používají v metodě konečných prvků při analýze struktur sestávajících pouze z dokonale vodivých částí a z vakua. V tomto případě se totiž nemusíme starat se o korektní modelování spojitosti pole na rozhraních dielektrik [3.3].

Dále se budeme věnovat hybridním vektorovým báзовým funkcím, které využívá metoda konečných prvků při analýze podélně homogenních vedení s obecným příčným průřezem. V příčném průřezu mohou vystupovat různá dielektrika, a proto je zapotřebí v příčné rovině použít takové báзовé funkce, které zajišťují spojitost pole na rozhraních různých dielektrik [3.4].

Nejjednoduššími báзовými funkcemi jsou funkce uzlové. Slovem *uzel* přitom označujeme vrchol trojúhelníkového diskretizačního prvku (body 1, 2, 3 v obr. 3.6). V uzlové aproximaci hrají roli neznámých aproximačních koeficientů hodnoty počítané veličiny pole v uzlech; jedná se o prostorové vzorky veličiny pole  $c_1^{(n)}$ ,  $c_2^{(n)}$ ,  $c_3^{(n)}$ , které v tuto chvíli neznáme. Uzlové báзовé funkce na základě uzlových hodnot aproximují rozložení veličin pole nad celou plochou diskretizačního prvku. V případě lineární aproximace proložíme uzlovými hodnotami nad vrcholy prvku  $c_1^{(n)}$ ,  $c_2^{(n)}$ ,  $c_3^{(n)}$ , rovinu (obr. 3.6a). Aproximační rovina se v případě formální aproximace stává funkcí neznámých koeficientů  $c_1^{(n)}$ ,  $c_2^{(n)}$ ,  $c_3^{(n)}$ . Horní index v závorce udává číslo diskretizačního prvku, nad jehož plochou veličinu aproximujeme, a dolní index udává číslo uzlu.

<sup>1</sup> Aproximaci označujeme jako formální, protože v tuto chvíli neznáme průběh aproximované funkce. Proto *formálně* předpokládáme, že hodnoty neznámé funkce v určitých bodech známe (s neznámými aproximačními koeficienty pracujeme, jako bychom je znali). To nám umožní vytvořit obecnou aproximaci, u níž můžeme změnou hodnoty aproximačních koeficientů libovolně měnit průběh aproximační funkce



Obr. 3.6 Lineární aproximace rozložení skalární veličiny nad trojúhelníkovým prvkem: a) aproximace závisí na neznámých uzlových hodnotách  $c_1^{(n)}$ ,  $c_2^{(n)}$ ,  $c_3^{(n)}$ ; b) tvarové funkce; jejich lineární kombinace tvoří lineární aproximaci rozložení veličiny nad prvkem; c) bázovou funkci získáme sloučením všech tvarových funkcí, které jsou nenulové v příslušném uzlu.

Rovinu, kterou jsme aproximovali rozložení veličiny pole nad plochou diskretizačního prvku, nazýváme lineární tvarovou funkcí. Lineární aproximaci nad prvkem potom vytvoříme násobením tvarových funkcí odpovídajícími uzlovými hodnotami a jejich sečtením [3.3], jak je naznačeno na obr. 3.6a, b

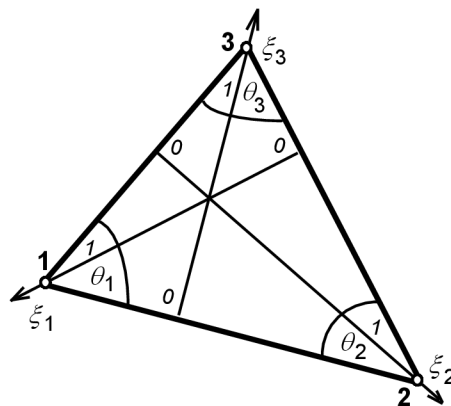
$$C^{(n)} = \sum_{m=1}^3 c_m^{(n)} N_m^{(n)} \quad (3.5)$$

Lineární tvarová funkce  $N_m^{(n)}$  nabývá v  $m$ -tém uzlu  $n$ -tého trojúhelníkového prvku jednotkové hodnoty a v ostatních dvou uzlech je nulová (viz obr. 3.6b).

Sloučíme-li všechny tvarové funkce, které nabývají v  $m$ -tém uzlu jednotkové hodnoty, dostaneme bázovou funkci (*basis function*)  $m$ -tého uzlu  $N_m$  (viz obr. 3.6c). Na základě bázových funkcí a uzlových hodnot potom můžeme snadno vyjádřit aproximaci rozložení skalární veličiny pole nad celou analyzovanou oblastí [3.3]

$$C = \sum_{m=1}^M c_m N_m \quad (3.6)$$

kde  $M$  je celkový počet uzlů a  $c_m$  je globální uzlová hodnota.



Obr. 3.7 Dvojrzměrné simplexní souřadnice.

Bázové a tvarové funkce se s výhodou vyjadřují pomocí simplexních souřadnic. Simplexní souřadnice mají v případě dvourozměrných trojúhelníkových prvků směr výšek trojúhelníku. Souřadnice je jednotková ve vrcholu trojúhelníka, kterým prochází, a nulová na protilehlé hraně (viz obr. 3.7).

Lineární tvarové funkce pro trojúhelníkový prvek lze vyjádřit následovně [3.3]:

$$N_1^{(n)} = \xi_1, \quad N_2^{(n)} = \xi_2, \quad N_3^{(n)} = \xi_3 \quad (3.7)$$

kde  $\xi_1, \xi_2, \xi_3$  značí simplexní souřadnice (viz obr. 3.7). Více informací o uzlových aproximacích a simplexních souřadnicích lze nalézt v [3.3] a [3.17].

Jak bylo řečeno, uzlová aproximace není schopna zajistit podmínky spojitosti na rozhraních dielektrik. To se ve výsledcích projeví tím, že vedle reálně existujících řešení se objevují i řešení fyzikálně neexistující (tzv. *spurious solutions*). Fyzikálně neexistující řešení vyhovují první a druhé Maxwellově rovnici, avšak nesplňují třetí a čtvrtou Maxwellovu rovnici (tzv. *divergence-free conditions*). Těmto řešením se lze při použití uzlové aproximace vyhnout jen dvěma způsoby:

- K výpočtu použijeme přímo první a druhou Maxwellovu rovnici [3.18]. Pracujeme tedy se soustavou šesti skalárních rovnic pro šest neznámých složek pole  $E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$ , přičemž prostorové rozložení každé složky je zvlášť aproximováno pomocí uzlových funkcí. Výpočetní a paměťové nároky tohoto přístupu jsou tudíž velmi vysoké.
- Pracujeme s vlnovou rovnicí, která je výsledkem kombinace první a druhé Maxwellovy rovnice. Stačí nám řešit jen tři skalární rovnice pro tři složky pole. Abychom však zajistili splnění divergenčních podmínek, musíme do vlnové rovnice přidat speciální divergenční člen [3.19]. Ten však komplikuje řešení výsledných maticových rovnic (zvyšuje hustotu matic a narušuje jejich pásový charakter).

Problém se podařilo vyřešit pomocí vektorových hranových bázových funkcí. V případě podélně homogenních vedení, kdy je nutné postarat se o splnění podmínek na rozhraních dielektrik pouze v příčné rovině  $xy$ , použijeme vektorovou hranovou aproximaci pouze pro příčné složky vektoru intenzity elektrického pole  $E_x$  a  $E_y$ . Rozložení podélné složky pole  $E_z$  můžeme aproximovat pomocí klasických uzlových funkcí [3.4].

Rozložení podélné složky pole nad  $n$ -tým diskretizačním prvkem tedy můžeme vyjádřit podle (3.5) a (3.7) jako [3.4]

$$E_z^{(n)} = \sum_{m=1}^3 e_{z,m}^{(n)} N_{z,m}^{(n)} = \sum_{m=1}^3 e_{z,m}^{(n)} \xi_m \quad (3.8)$$

kde  $e_{z,m}^{(n)}$  jsou neznámé uzlové hodnoty a  $N_{z,m}^{(n)} = \xi_m$  je lineární tvarová funkce vyjádřená v simplexních souřadnicích.

Rozložení příčného vektoru pole vyjádříme jako lineární kombinaci neznámých skalárních aproximačních koeficientů a známých vektorových bázových funkcí [3.4]

$$\begin{aligned} \vec{E}_t^{(n)} &= \vec{N}_{t,12}^{(n)} e_{t,12}^{(n)} + \vec{N}_{t,23}^{(n)} e_{t,23}^{(n)} + \vec{N}_{t,31}^{(n)} e_{t,31}^{(n)} \\ &= \sum_{i,j} \vec{N}_{t,ij}^{(n)} e_{t,ij}^{(n)}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

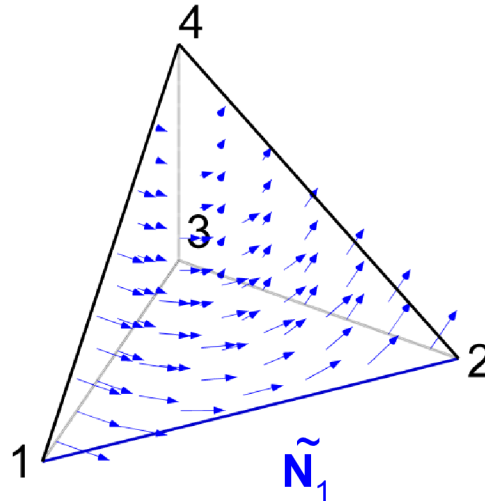
Vektorové bázové funkce mají na hranách diskretizačního prvku směr těchto hran. Proto hovoříme o hranových diskretizačních prvcích. Pomocí simplexních souřadnic je můžeme vyjádřit vztahem [3.4]

$$\vec{N}_{i,j}^{(n)} = \xi_i \nabla_t \xi_j - \xi_j \nabla_t \xi_i \quad (3.10)$$

kde  $\nabla_t$  je transversální diferenciální operátor *nabla*. Pokud v kartézském souřadném systému považujeme směr  $\mathbf{z}_0$  za směr podélný, můžeme transversální operátor *nabla* vyjádřit vztahem:

$$\nabla_t = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{x}_0 + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{y}_0 \quad (3.11)$$

Jelikož dva sousední diskretizační prvky sdílejí stejnou hranu a jelikož elektrické a magnetické vlastnosti materiálů musejí být v oblasti diskretizačního prvku neměnné, použití hranových prvků automaticky zaručuje tangenciální spojitost veličin polí na rozhraních.



Obr. 3.8 Vektorová bázová funkce vodorovné hrany. Vektor bázové funkce je ve vodorovné hraně jednotkový a v ostatních dvou hranách nulový (je na ně kolmý).

### 3.3 Dosazení formální aproximace do řešení rovnice

Řešenou rovnici vyjádříme symbolicky:

$$F[\mathbf{E}(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) = 0 \quad (3.12)$$

V této rovnici značí  $F$  obecný diferenciální operátor,  $\mathbf{E}$  je hledané rozložení pole (zde reprezentované vektorem intenzity elektrického pole),  $\mathbf{r}$  značí polohový vektor bodu, v němž intenzitu pole počítáme, a  $s$  hraje roli kmitočtu (analyzujeme-li strukturu v ustáleném harmonickém stavu) nebo času (analyzujeme-li neustálený, přechodný děj). Funkce  $f(\mathbf{r}, s)$  popisuje známé zdroje hledaného elektromagnetického pole.

Dosazením formální aproximace  $\mathbf{E}_a(\mathbf{r}, s)$  do vztahu (3.12) namísto přesného řešení  $\mathbf{E}(\mathbf{r}, s)$  dospějeme ke vztahu

$$\begin{aligned} F[\mathbf{E}_a(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) &= F\left[\sum_{m=1}^M c_m \mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)\right] - f(\mathbf{r}, s) = \\ &= \sum_{m=1}^M c_m F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)] - f(\mathbf{r}, s) = R(\mathbf{r}, s). \end{aligned} \quad (3.13)$$

Aproximace je vyjádřena jako součet součinu neznámého skalárního aproximačního koeficientu  $c_m$  a známé vektorové bázové funkce  $\mathbf{N}_m$  na  $m$ -tém diskretizačním prvku. Součiny  $c_m \mathbf{N}_m$  sčítáme přes všech  $M$  diskretizačních prvků, na něž je analyzovaná struktura rozdělena.

Jelikož operátor  $F$  je lineární, můžeme zaměnit pořadí aplikace operátoru a sčítání. Protože  $c_m$  je konstanta (i když v tuto chvíli neznámá), můžeme ji vytknout před operátor. Tím dostáváme součet  $M$  neznámých koeficientů  $c_m$  násobených známými funkcemi  $F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)]$ .

Nelze si nevděkovat skutečnosti, že nulová pravá strana řešené rovnice (3.12) se změnila po dosazení aproximace na nenulovou funkci  $R(\mathbf{r}, s)$ , jejíž hodnota závisí na poloze  $\mathbf{r}$ . Tuto funkci nazýváme reziduem (zbytkovou funkcí). V podstatě jí vyjadřujeme skutečnost, že aproximace se od přesného řešení odchyluje a že velikost této odchylky závisí na poloze a na kmitočtu nebo čase (viz obr. 3.5).

V dalším kroku se budeme snažit nalézt takové hodnoty aproximačních koeficientů  $c_m$ , aby zbytková funkce nabývala co možná nejmenších hodnot. Tím dosáhneme co možná nejvyšší přesnosti aproximace řešení.

### 3.4 Minimalizace rezidua

K minimalizaci zbytkové funkce používáme obvykle metodu vážených reziduí. Tato metoda spočívá ve vynásobení zbytkové funkce  $R(\mathbf{r}, s)$  vhodnou váhovou funkcí  $W_m(\mathbf{r}, s)$ , v integraci součinu přes celou analyzovanou oblast a v položení výsledku integrace nule

$$\iiint_V [W_n(\mathbf{r}, s) R(\mathbf{r}, s)] dV(\mathbf{r}) = 0 \quad (3.14)$$

Tím v podstatě vyjadřujeme požadavek, aby střední vážená chyba řešení přes celý analyzovaný prostor byla nulová.

Je-li váhovou funkcí funkce bázová, mluvíme o Galerkinově metodě [3.7]

$$\begin{aligned} \iiint_V \left\{ N_n(\mathbf{r}, s) \sum_{m=1}^M c_m F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)] + N_n(\mathbf{r}, s) f(\mathbf{r}, s) \right\} dV(\mathbf{r}) = \\ = \sum_{m=1}^M c_m \iiint_V \{ N_n(\mathbf{r}, s) F[\mathbf{N}_m(\mathbf{r}, s)] \} dV(\mathbf{r}) + \\ + \iiint_V \{ N_n(\mathbf{r}, s) f(\mathbf{r}, s) \} dV(\mathbf{r}) = 0 . \end{aligned} \quad (3.15)$$

Vztah (3.15) je jednou rovnicí pro  $M$  neznámých koeficientů  $c_m$ . V integrálech přes analyzovanou oblast  $V$  totiž vystupují pouze známé bázové funkce a známý operátor, takže lze tento integrál vyjádřit jediným konkrétním číslem. I druhý člen můžeme vyjádřit konkrétním číslem, neboť se jedná o určitý integrál součinu známé váhové funkce a známé funkce zdrojové.

Pokud reziduum postupně násobíme  $M$  různými váhovými funkcemi, dospějeme k soustavě  $M$  lineárních algebraických rovnic pro  $M$  neznámých aproximačních koeficientů  $c_m$ .