

Mikroelektronika na Slovensku, spomienky na TESLU Piešťany

Spomienky na TESLU Piešťany a Útvar konštrukcie integrovaných obvodov

ĽUDOVÍT MALÝ

Memories of TESLA Piešťany and the Integrated Circuit Design Department

My memories were inspired by the presentation of the book [1], which took place on February 21, 2019 in Bratislava. I met the authors of the book and, among them, doc. Vladimír Áč, head of the Integrated Circuit Design Department where I worked from 1978 to 1994.

Úvod

V roku 2018 vyšla vo vydavateľstve Veda kniha s názvom „Od tranzistora k integrovanému obvodu (kapitoly z dejín česko-slovenskej mikroelektroniky)“, VEDA, SAV Bratislava 2018 v edícii prof. Ing. Štefana Lubyho, DrSc. [1]

V krátkej recenzii kníhkupectva Martinus sa o tejto knihe píše: „Primárnym zmyslom tejto knihy je poukázať na osudy mikroelektroniky v Československu a na Slovensku, pretože táto téma u nás, na rozdiel od Česka, nebola zatiaľ dostatočne spracovaná. Ujali sa jej autori z bývalého priemyselného vývoja, z prostredia SAV a Slovenskej technickej univerzity. Doc. Ing. Vladimír Áč, CSc. predostrel podľa názoru Štefana Lubyho doteraz najucelenejší pohľad na mikroelektroniku na Slovensku z pohľadu priemyselnej sféry, ale aj z hľadiska výskumných inštitúcií. RNDr. Ivan Kostič spracoval vývoj a úspechy litografie v našej krajine, ktorá sa vypracovala na medzinárodnú úroveň. Doc. Martin Šperka a prof. Daniel Donoval prispeli kapitolami o aplikáciách vo výpočtovej technike, resp. o príprave absolventov pre odbor i vedecké prínosy našej hlavnej liahne adeptov mikroelektroniky - Fakulty elektrotechniky a informatiky STU. Knihu dotvárajú a oživujú spomienky a postrehy Ing. Petra Lobotku, doc. Jozefa Nováka, prof. Milana Ožvolda a Ing. Iva Vávru, ktorým patrí rovnako vďaka.“

Mal som tú česť, že som sa 21. februára 2019 v Bratislave zúčastnil na prezentácii spomínanej publikácie na pozvanie Vladimíra Áča. V rokoch 1978 – 1994 som pracoval pod jeho vedením na útvare výskumu a vývoja integrovaných obvodov. Pri čítaní knihy a potom aj pri jej prezentácii sa mi vynorilo mnoho spomienok na TESLU, na kolegov z nášho oddelenia, i ďalších kolegov z kooperujúcich oddelení, z Katedry mikroelektroniky SVŠT, ústavov a oddelení SAV, kolegov z VÚST Praha a ČVUT Praha. Som rád že na prezentácii knihy som sa mohol stretnúť s Vladimírom Áčom a takmer všetkými autormi knihy, ako i s mnohými ďalšími autoritami, s ktorými som mal ako zamestnanec TESLY Piešťany možnosť spolupracovať. Veľmi príjemné bolo stretnutie kolegov

z oddelenia MOS IO v Piešťanoch dňa 4.5.2019, ktoré bolo inšpirované spomínanou knihou. Tak ako moji kolegovia, aj ja som rád a som hrdý na to, že som bol tiež pri tom. V ďalšom texte uvádzam útržky mojich spomienok na tie časy. Robím tak i na podnet doc. Ing. Rudolfa Kindera, PhD., s ktorým som sa stretával pri mojich návštevách na katedre mikroelektroniky v Bratislave, na seminároch o testovacích štruktúrach, ktoré organizoval doc. Ing. Ivan Adamčík, CSc. a na študijnom pobyte v Belgicku. Útržky mojich spomienok vyšli koncom marca 2019 aj v Piešťanskom denníku. Iste nie sú komplexné. Išlo mi o zachytenie spomienok z nášho pracovného i mimopracovného života v tej dobe, ako som ich prežíval ako jeden z mnohých inžinierov v TESLE, ako sa mi po rokoch vynorili v pamäti. Škoda, že svoje spomienky nepridali aj ďalší kolegovia.

Moje začiatky a práca v TESLE Piešťany

Spomínam si, že na našom pracovisku som sa cítil veľmi dobre, bolo to ako na akademickej pôde, porady boli často vedené formou brainstormingu, zamerané na vyriešenie problémov a získanie ďalších vedomostí. Keď som nastúpil v r. 1978 na naše pracovisko, vyvíjali a odovzdávali sa do výroby čipy vyrábané technológiou MNOS s P-kanálovými tranzistorami. Najzložitejšie z nich boli integrovaný obvod UART, na ktorom pracoval vedúci našej skupiny Ing. Bartolomej Talpaš v spolupráci s Ústavom technickej kybernetiky, ďalej to bol kalkulačkový čip a pre nás, nastupujúcich inžinierov, veľmi atraktívne obvody pre televízne hry, ktoré vyvinul doc. Áč.

Na naše oddelenie sme nastúpili viacerí absolventi odborov mikroelektronika, fyzika tuhých látok a experimentálna elektrofyzika EF SVŠT v Bratislave. Hneď sa nás ujali starší kolegovia, ukázali nám celú TESLU, pomáhali nám zorientovať sa na pracoviskách a radili nám pri našich začiatočníckych úlohách. Po nástupe do zamestnania som sa začal venovať meraniu parametrov tranzistorov. Používali sme pri tom zapisovač charakteristík tranzistorov, ktorého riadiacu časť zostrojil Ing. Peter Sitár. On ma inšpiroval k tomu, aby som sa pustil do stavby charakterografu, ktorý kreslil charakteristiky tranzistorov na papier pomocou zapisovača a mal aj režim, v ktorom zobrazoval charakteristiky na osciloskope. Pri niektorých problémoch, na ktoré som pritom narazil, mi veľmi pomáhali Štefan Kosterec, vynikajúci hardverista a Ing. Jozef Bardík, odborník na testovanie integrovaných obvodov. Potom som sa zapojil do vývoja technológie CMOS s kremíkovým hradlom, pričom sme spolupracovali s Ing. Mikulášom Florekom a jeho oddelením difúzie [2]. Oveľa neskôr som spolu s Ing. Miloslavom Naďom pracoval na vývoji CMOS technológie s N-jamou [3], určenej pre vývoj a výrobu novej generácie IO CMOS.

Pri týchto prácach som sa dostal k návrhu a meraniu testovacích štruktúr. Na meranie štruktúr sme používali tester UNIMOS, ktorý vyvinul doc. Áč so skupinou hardveristov. Bol programovateľný v strojovom kóde a programy zostavoval Štefan Kosterec. Neskôr sme na tento účel používali tester TESKUMOS, ktorý na báze mikroprocesora 8080 vyvinul doc. Áč. Programy sa

už písali v upravenom jazyku Basic, ktorý sme sa naučili všetci, ktorí sme potrebovali merať testovacie štruktúry. Boli to prvé dotyky s programovaním mikropočítačov. Najlepší v programovaní testov bol Ing. Pavol Krásny. S nadšením sme spoznávali mikropočítač PMD 85, ktorý skonštruoval Ing. Roman Kišš, neskôr osobné počítače, na ktorých už bežali návrhové a simulačné programy ako napríklad SUPREM, SPICE a OrCAD.

Často sme sa zúčastňovali na seminároch a konferenciách, na ktorých prednášali naši skúsenejší kolegovia, ako i pedagógovia a vedeckí pracovníci z katedry mikroelektroniky, ústavov SAV a ďalších vedeckých a technických pracovísk. Tieto podujatia sa konali napr. na zámku v Smoleniciach, v kongresovej hale v kúpeľoch Piešťany a v lodenici v Piešťanoch. Pri práci sme si vymieňali skúsenosti a názory aj mimo oddelenia, spolupracovali sme s kolegami z OFE SAV, s ktorými sme susedili a s kolegami z licenčnej výroby čipov.

Jednou z veľmi zaujímavých oblastí boli počítačové simulácie a modelovanie. Asi najviac sme pracovali so simulátorom technologických operácii SUPREM a so simulátorom elektronických obvodov SPICE. Programovaním týchto, ako i ďalších nástrojov, sa zaoberali najmä v TESLE VÚST v Prahe a na Ústave technickej kybernetiky v Bratislave. Spolupráca s kolegami z ÚTK SAV bola tiež veľmi zaujímavou kapitolou. Pomáhal som pri realizácii čipov CMOS, najviac si spomínam na jednobitový mikroprocesor pre využitie v priemysle a hradlové polia radu GAC, na vývoji ktorých pracovali Ing. Ján Langoš, Ing. Peter Kákoš a Ing. Marián Gula.

Ďalšia oblasť, v ktorej sme pracovali, bol grafický návrh masiek čipov IO. Práce s tým spojené sa realizovali na oddelení Ing. Eduarda Paulička, kde bola umiestnená výpočtová technika a návrhový systém. Niektoré práce sme vykonávali my, vývojári a veľký objem prác robili kolegyne z oddelenia. Bola to predovšetkým digitalizácia návrhu, spracovanie údajov, tlač kontrolných kresieb a v neposlednom rade aj kontrola topografie masiek, ktorú robili veľmi pedantne. Rád by som spomenul aj kolegyne, ktoré robili optickú kontrolu čipov a meranie čipov na hrotových prípravkoch. Táto práca si vyžadovala veľkú trpezlivosť a precíznosť, doc. Áč o nich píše v knihe [1] na strane 96. Niektoré grafické práce sme vykonávali aj vo VÚST Praha na návrhovom systéme Calma. Tu sme sa stretávali s tamojšími konštruktérmi, z ktorých spomeniem Ing. Michala Černocho, ktorý navrhol masky pre mikroprocesor MHB8080 a pre mnoho ďalších IO.

Testovacie štruktúry

Zaujímavé bolo zistenie, že pri výrobe čipov vytvárame okrem želanej aktívnej štruktúry MOS tranzistorov i neželané - parazitné štruktúry. Pri CMOS obvodoch to boli napr. parazitné bipolárne štruktúry npnp, ktoré sa chovali ako

tyristor a boli schopné za istých okolností skratovať a zničiť čip [4,5]. Na potlačenie parazitných javov bolo potrebné zasiahnuť do topológie i vertikálnej štruktúry čipu. Bolo potrebné nájsť vhodné rozmery štruktúr a zahrnúť ich do návrhových pravidiel, ktorými sa riadili konštruktéri čipov. Na overovanie návrhových pravidiel slúžili merania na vyrábaných čipoch, ale najmä merania na špeciálnych testovacích čipoch. Testovacie čipy pozostávali z oddelených základných stavebných prvkov a štruktúr integrovaného obvodu. Merania slúžili aj na testovanie parametrov technologického procesu a na stanovenie parametrov modelov stavebných prvkov IO. Touto problematikou sa zaoberal aj doc. Ing. Ivan Adamčík, CSc. z TESLY VÚST v Prahe. Veľmi rád si spomínam na semináre o testovacích štruktúrach, ktoré pravidelne organizoval na Slovensku i v Čechách. Konali sa napr. v Liptovskom Jáne, Zuberici a v Tureckej. Bolo pre mňa veľkou ct'ou, že som s ním mohol spolupracovať na tematike testovacích štruktúr [6,7]. Spolu s doc. Ing. Bedrichom Weberom, CSc. z katedry mikroelektroniky v Bratislave a Ing. Ivanom Doležalom, CSc. z OFE SAV sme vytvorili knižnicu testovacích štruktúr pre vývoj MOS technológií a integrovaných obvodov [8]. V tejto oblasti sme spolupracovali aj s Ing. Milanom Mancelom z licenčného pracoviska TESLY Piešťany, doc. Ing. Ladislavom Hulényim CSc. a doc. Ing. Rudolfom Kinderom, CSc. z katedry mikroelektroniky v Bratislave. Testovací čip s ľubovoľným prístupom k testovacej bunke [9] sme navrhli pre automatizované meranie a vyhodnocovanie technologických a elektrických parametrov štruktúry IO a pre overovanie návrhových pravidiel vhodných pre danú technologickú linku. Žiaľ, stihli sme iba jeho návrh a overenie niektorých testovacích štruktúr osadených na „klasickom“ testovacom čipe.

Pri návštevách na oddelení Ing. Adamčíka som sa často stretával s jeho kolegami Ing. Michalom Kirschnerom, ktorý sa zaoberal metódami merania testovacích štruktúr a Ing. Martinom Terrayom, ktorý sa zaoberal technologickými simuláciami. Doc. Adamčík bol osobnosťou nielen v technickom svete ale aj v kultúrnom a spoločenskom živote, bol predsedom Klubu slovenskej kultúry v Prahe. V roku 1990 nastúpil na miesto vedúceho katedry mikroelektroniky ČVUT v Prahe. Žiaľ, v roku 1997 zomrel predčasne uprostred čínorodej práce. Ostáva v spomienkach všetkých, ktorí si ho vážili a mali radi.

Pracovné cesty

Zvláštnou témou spomienok sú pracovné cesty na pracoviská v zahraničí, kde sme jednak nadobúdali nové poznatky a súčasne nadväzovali nové pracovné kontakty. Zaujímavé boli i ďalšie pracovné cesty do Kyjeva, Varšavy, Erfurtu. Na jednej z prvých pracovných ciest do Erfurtu som mal česť stretnúť doc. Ing. Ladislava Szántóa, CSc., legendu televíznej techniky v Československu, ktorý sa zaoberal počítačovým návrhom integrovaných obvodov, modelovaním a simuláciami. Utkvela mi v pamäti cesta vlakom, kde som so záujmom počúval rozhovory doc.

Szántóa a odborníkov z TESLY Rožnov na tému modelovania a simulácie v mikroelektronike. Neskôr som sa s touto témou v praxi často stretával a modelovanie rôznych procesov ma mimoriadne zaujímalo. Myslím, že modely, ktoré si vytvárame v mozgu a ich asociácie so skutočnými udalosťami majú veľký vplyv na spôsob myslenia.

Veľký dojem na mňa urobila cesta do Holandska, kde som bol s doc. Áčom na exkurzii vo výrobnom podniku Philips. Rád si spomínam na cesty do Budapešti, kam som chodieval s Ing. Eugenom Okenkom, CSc. Jednalo sa o zákaznicke integrované obvody. V Maďarsku v tom čase už začínali ekonomické reformy. Ing. Okenka veľmi dobre poznal Budapešť a keď sme si urobili svoju prácu, chodievali sme na vrch Gellért, odkiaľ bol nádherný výhľad na Dunaj a Budapešť. Vrch Gellért má svoj genius loci. Ing. Okenka hovoril o histórii Budapešti a vrchu Gellért. Potom sme filozofovali o meniacich sa časoch. Dospeli sme k uzáveru že pri zmene systému budeme asi musieť prejsť zložitým obdobím. Odhadovali sme, že najlepšie sa bude vodiť obyvateľom Švajčiarska a škandinávskych krajín.

Ďalšia zaujímavá príhoda sa nám stala v Prahe, keď sme sa dozvedeli, že vývoj IO, na ktorom sme pracovali, je zastavený lebo sa stal obchodne nezaujímavým. Trochu nás to sklamalo a náladu sme si zlepšili tým, že sme uvažovali o možnosti presvedčiť niekoho o tom, že kontrolné kresby integrovaného obvodu sú umeleckým dielom. Keby sme ich predali, mohli by sme zabezpečiť návratnosť nákladov na doterajší vývoj. Iste sme neboli jediní vývojári uvažujúci týmto smerom, lebo o niekoľko rokov neskôr, keď som pracoval v Brne, dostal som do daru od Ing. Vrbíka z ASICentra Praha kalendár s tzv. Chipartom, ktorý vydala ich firma. Niečo podobné spomína aj doc. Ing. Martin Šperka, PhD. v „Nočnej pyramíde“ RTVS zo dňa 19.10.2021.

Trochu komická, ale v tom čase pre mňa dosť neprijemná príhoda sa viaže na založenie Ministerstva elektrotechnického priemyslu v Prahe. Ministerstvo bolo umiestnené provizórne v tzv. Košičáku - robotníckom hoteli staviteľov metra, ktorý bol v areáli VÚST v Prahe. Na služobných cestách sme tam zvykli dostať ubytovanie. Keď som sa večer ubytoval, nevšimol som si žiadnu zmenu, všetko vyzeralo ako zvyčajne. Jednanie vo VÚST mi začínalo o 9:00, takže o 8:00 som vypochoďoval z izby v pyžame, s uterákom prehodeným cez plece, smerom do umyvárne. Keď som bol asi na polceste, otvorili sa dvere jednej miestnosti a vyšla úradníčka s nejakými listinami. Bol to pre mňa trochu šok ale dokončil som presun na umyváreň. Spiatočný presun som absolvoval mierne zrýchleným tempom a po vyhodnotení situácie, a zistení, že sa nikde nič nehýbe.

V r. 1990 som ako externý aspirant dostal možnosť absolvovať stáž na Katolíckej vysokej škole v Oostende v Belgicku v rámci projektu TEMPUS. Pricestoval som tam dva týždne pred Vianocami. Mal som predstavu, že dostanem tému blízku téme, ktorej som sa venoval v TESLE a na ktorej som pracoval pod vedením doc. Hulényiho z katedry mikroelektroniky SVŠT, teda tvorbe a verifikácii návrhových pravidiel. Môj budúci školiteľ z vývojového pracoviska

Philips v Leuvene mi však ponúkol tému - návrh signálového procesora so sériovým spracovaním 1-bitového signálu pre audio-aplikácie. Pravdu povediac, bola to pre mňa úplne nová, neznáma téma a mal som z nej obavy. Snažil som sa mu vysvetliť na čom som doteraz robil a čím sa zaoberám. To ho nezaujímalo, pýtal sa, či ma téma, ktorú mi ponúka, oslovila. Vypýtal som si teda od neho literatúru na uvedenie do problematiky a čas na rozmyslenie. Na Vianoce som bol doma a po sviatkoch som sa zastavil v TESLE u doc. Áča. Zveril som sa mu so svojimi obavami. V krátkosti mi načrtol jadro procesora, ktorý by vyhovoval požiadavkám a dal mi radu, aby som začal uvažovať o paralelnom procesore a po jeho rámcovom návrhu ho transformoval na sériový. Táto analýza mi veľmi pomohla a po Vianociach som projekt prijal a pod vedením školiteľa z vývojového pracoviska Philips aj zrealizoval. Pomohla mi aj technická správa o násobičke signálového procesora, ktorej autorom bol Ing. Jozef Bednárík z návrhového oddelenia na KME v Bratislave. Táto správa mi poskytla prvé predstavy o architektúre násobičiek. Veľmi mi pomohli konzultácie s profesormi KHBO a čerpal som aj z bohatej knižnice, ktorá bola hneď vedľa počítačového laboratória. Na študijnom pobyte som si osvojil metodiku počítačového návrhu VLSI IO. Naučil som sa HDL (hardvér popisujúci jazyk) Verilog a VHDL. Pracoval som s návrhovými systémami Cadence a Mentor Graphics. Veril som, že TESLA Piešťany ako veľký podnik sa bude rozvíjať i naďalej a že tam uplatním všetko, čo som sa naučil. Napokon bolo všetko inak a v r. 1994 som nastúpil do firmy CEDO v Brne. Uplatnením skúseností z práce v TESLE Piešťany a znalostí získaných na KHBO Oostende som s kolegami z CEDO prispel k automatizovanej metóde vývoja knižníc štandardných buniek.

Život Teslákov mimo pracoviska

Veľmi príjemné kolegiálne vzťahy sa prejavovali i mimo práce. Spomínam na poobedné a večerné stretnutia nášho oddelenia, na turistické výlety a zájazdy do Malej a Veľkej Fatry a do Nízkych Tatier. Dušou našich výletov bol Ing. Bartolomej Talpaš, zanietený turista a milovník prírody. Ing. Talpaš už žiaľ nie je medzi nami, ostáva v našich spomienkach.

Veľký zážitok pre mňa bol splav Váhu z Hlohovca do Komárna a potom občasnú plavbu po jazere Sĺňava a po Váhu až po „Prúdy“. Plavby nám umožnili vodáci z OFE SAV Piešťany, ktorí mali uložené kanoe v lodenici na Sĺňave a oddiel vodných turistov v Piešťanoch. Najčastejšie som brázdil hladinu Sĺňavy s Ing. Matysom z OFE SAV a cez víkendy s mojou manželkou, ktorá v tom čase študovala v Brne.

V TESLE, a na našom oddelení zvlášť, bolo veľmi obľúbeným relaxom záhradkárčenie. V záhradkárskej osade v Kocuriciach sme sa stretávali viacerí kolegovia a osada funguje dodnes. Rád si spomínam na husľové trio, ktoré svojho času viedol Ing. Okenka. Hrával s Ing. Matysom a RNDr. Jurajom Weiszom, v tom čase študentom. Hrávali často aj v garáži u Ing. Okenku, kam som si ich

občas prišiel vypočúť. Žiaľ, Ing. Okenka už tiež nie je medzi nami a tak ostáva v našich spomienkach.

Záver

TESLA Piešťany podľa môjho názoru zohrala veľmi významnú úlohu vo vývoji Piešťan. Spolu s kúpeľmi, ktoré zveľadila a do plnej slávy priviedla rodina Winterovcov, ako i s ďalšími podnikmi významne prispela k jedinečnému genius loci Piešťan. Trochu tu vidím analógiu s Rudolfínskou Prahou alebo s našimi historickými banskými mestami. Stopy pôsobenia vtedajších vedcov a technikov, aj napriek tomu, že ich časy pominuli, tam môžeme vidieť dodnes. Keď k mestu Piešťany prirátame okolité historické a duchovné centrá ako Trnavu, Bradlo, Skalku pri Trenčíne, Ducové, Bojnú, okolité prírodné a kultúrne pamiatky, musíme byť na náš región a našu históriu hrdí.

Mal som to šťastie že som v Siemense, ktorý tu mal pobočku do r. 2008 pracoval s deťmi mojich bývalých kolegov z TESLY. Pokračujú v kariére elektrotechnických inžinierov a sú vynikajúcimi odborníkmi. Ďalší mladí piešťanci podnikajú alebo inak pracujú na tom, aby sa v Piešťanoch a na Slovensku žilo dobre.

Literatúra

- [1] Štefan Luby et al.: Od tranzistora k integrovanému obvodu (kapitoly z dejín československej mikroelektroniky), VEDA, Bratislava, 2018
- [2] Florek M., Malý, L.: Technológia CMOS — Si hradlo, Správa o plnení technologickej úlohy, TESLA Piešťany k.p., 1982
- [3] Malý, L., Nad', M.: Technológia CHMOS s N-jamou, Zborník referátov z 5. celoštátnej konferencie "Mikroelektronika" so zahraničnou účasťou, Bratislava 1989, s.62
- [4] Malý, L., Matys, J.: Parazitné prvky v štruktúre CMOS, IO 82 Smolenice, 1982, s. 100-107
- [5] Malý, L.: Implantované ochranné prúžky v technológii SG CMOS, II. kom, 1984 s. 150
- [6] Adamčík, I., Malý, L.: Unifikovaný rad testovacích štruktúr umiestnených do deliaceho rámika unipolárnych VLSI obvodov, Elektrotech. čas., 39, 1988, 5, s.384
- [7] Adamčík I., Malý, L.: Unifikované testovacie štruktúry pre integrované obvody, súbor ref. zo IV. Seminára Testovacie štruktúry a modelovanie v mikroelektronike, Zuberec, 1989, s.14
- [8] Malý, L., Adamčík, I., Hulényi, L., Weber, B.: Testovacie štruktúry pre tvorbu a overovanie návrhových pravidiel súbor ref. zo IV. seminára Testovacie štruktúry a modelovanie v mikroelektronike, Zuberec, 1989, s.68
- [9] Malý, L., Adamčík, I.: Test chip with random access of test structure 8th Symposium on Reliability in Electronics, Relectronic 91, Budapest, 1991 s. 915

Ing. Ludovít Malý, CSc.

Piešťany

ludovit.maly@hotmail.com

Ludovít Malý (1953) vyštudoval na Elektrotechnickej fakulte Slovenskej vysokej školy technickej (EF SVŠT) odbor Experimentálna elektrofyzika. V rokoch 1978 až 1994 pracoval v TESLE Piešťany na vývoji technológie CMOS s kremíkovým hradlom. Pracoval na vývoji rôznych IO CMOS s Al aj kremíkovým hradlom.

Zaoberal sa vývojom testovacích čipov pre hodnotenie technologických procesov a pre tvorbu a verifikáciu návrhových pravidiel. V roku 1994 obhájil dizertačnú prácu na tému „Tvorba návrhových pravidiel IO CMOS“. Spolupracoval s Katedrou mikroelektroniky STU Bratislava, OFE SAV Piešťany, Ústavom technickej kybernetiky SAV a TESLOU VÚST Praha.

V rokoch 1994 až 1998 pracoval vo firme CEDO Brno. Zaoberal sa vývojom knižníc štandardných buniek pre digitálne integrované obvody, návrhom topografie štandardných buniek, simuláciou, charakterizáciou a implementáciou štandardných buniek pre CAD návrhové systémy a pre kremíkový kompilátor Synopsys. Podieľal sa na automatizácii návrhu knižníc štandardných buniek pre digitálne integrované obvody, čo zahŕňalo automatické generovanie topografie, exportných súborov pre CAD a dokumentácie. Spolupracoval s KHBO Oostende a IMEC Leuven.

V rokoch 1998 až 2008 pracoval v pobočke Siemens v Piešťanoch. Zaoberal sa vývojom zákazníckych integrovaných obvodov a makro-buniek pre procesory. Zaoberal sa aj formálnou verifikáciou logických obvodov pomocou ABV.

V rokoch 2008 až 2018 pracoval vo firme Vossloh-Schwabe v Trnave ako vývojový pracovník na vývoji elektronických predradníkov pre fluorescenčné a LED svietidlá.
