

TURINYS

Veikiantieji asmenys	11
Specialiųjų terminų žodynas	13
Įvadas	15

I dalis

ŠALTOJO KARO LUSTAI

1	Nuo plieno prie silicio	29
2	Jungiklis	35
3	Noyce'as, Kilby'is ir integrinis grandynas	39
4	Pakilimas	44
5	Minosvaidžiai ir masinė gamyba	49
6	„AŠ... NORIU... PRATURTĖTI“	56

II dalis

AMERIKIETIŠKOJO PASAULIO SCHEMA

7	Sovietų Silicio slėnis	63
8	„Nukopijuokit“	69
9	Tranzistorių pardavėjas	73
10	„Tranzistorių merginos“	80
11	Tiksliai į taikinį	85

12	Tiekimo grandinės konstravimas	90
13	„Intel“ revoliucionieriai	95
14	Pentagono „išlyginamoji strategija“	101

III dalis

LYDERYSTĖ PRARASTA?

15	„Kokia nuožmi ta konkurencija“	109
16	„Kare su Japonija“	114
17	„Jie pristato šlamštą“	120
18	Devintojo dešimtmečio „žaliavinė nafta“	127
19	Riedant į prarają	132
20	„Japonija, kuri gali pasakyti „NE“	139

IV dalis

AMERIKOS ATSIGAVIMAS

21	„Bulvių traškučių“ karalius	149
22	„Intel“ pertvarka	156
23	„Mano priešo priešas“. Korėjiečių iškilimas	162
24	„Štai ateitis“	167
25	KGB T direktoratas	174
26	„Masinio naikinimo ginklai“: „išlyginamosios strategijos“ poveikis	179
27	Karo didvyris	185
28	„Šaltasis karas baigėsi – jūs laimėjote“	189

V dalis

INTEGRINIAI GRANDYNAI LEMIA IR PASAULIO INTEGRACIJĄ?

29	„Norime puslaidininkų pramonės Taivane“	197
30	„Visi žmonės turi gaminėti puslaidininkius“	204

31	„Dalytis Dievo meile su kinais“	211
32	Litografijos karai	217
33	Novatoriaus dilema	225
34	Veikiančios greičiau?	233

VI dalis

UŽSIENIEČIAI PERIMA INOVACIJŲ INICIATYVĄ?

35	„Tikri vyrai privalo turėti po fabriką“	243
36	„Begamyklių“ revoliucija	248
37	Didysis Morris'o Chang'o aljansas	254
38	Savi „Apple“ lustai	261
39	Tolimojo ultravioleto litografija	265
40	„Plano B nėra“	272
41	Kaip „Intel“ pamiršo apie inovacijas	277

VII dalis

KINIJA META IŠŠŪKĮ

42	Pagaminta Kinijoje	287
43	„Privalome pulti“	292
44	Technologijų perdavimas	300
45	„Bendrovės tikrai jungsis“	308
46	„Huawei“ iškilimas	315
47	5G ateitis	323
48	Dar vienas mėginimas išlyginti	329

VIII dalis

LUSTŲ PRAMONĖS RIBOJIMAI KAIP GEOPOLITINIS SVERTAS

49	„Viskas, dėl ko konkuruojame“	343
50	„Fujian Jinhua“	353

51	Ataka prieš „Huawei“	359
52	Proga Kinijai pasiekti rezultatų, prilygstančių „Sputniko“ sėkmei?	368
53	Stygius ir tiekimo grandinės	376
54	Taivano dilema	385
	Išvados	395
	<i>Padėka</i>	403
	<i>Pastabos</i>	407

I V A D A S

Eskadrinis minininkas „USS Mustin“ 2020-ųjų rugpjūčio 18 d. įplaukė į Taivano sąsiaurį, savo 54 kalibro (127 mm) pabūklą nukreipęs į pietus, turėdamas misiją perplaukti sąsiaurį ir taip parodyti, kad šių tarptautinių vandenų Kinija nekontroliuoja – bent jau kol kas. Stiprus pietvakarių vėjas plakė denį, laivui traukiant į pietus. Aukštai kabančių debesų šešėliai krito ant vandens, kuris driekėsi iki pat didžiųjų Fudžou, Siamento, Honkongo ir kitų uostų Kinijos pietuose. Rytuose tolumoje iškilo Taivano sala: plati, tankiai apgyvendinta pakrantės lyguma ir aukštos debesyse pasislėpusios kalnų viršukalnės. Laivo jūreivis, dėvintis karinio jūrų laivyno beisbolo kepuraitę ir medicininę kaukę, pro žiūronus stebėjo horizontą. Vandenyse knibždėte knibždėjo komercinių krovinių laivų, iš Azijos gamyklų gabenančių prekes viso pasaulio vartotojams.

Grupė „USS Mustin“ jūreivių dirbo tamsioje laivo patalpoje priešais daugybę ryškiaspalvių ekranų, kuriuose buvo pateikiami duomenys iš lėktuvų, dronų, laivų ir palydovų, stebinčių judėjimą Indijos ir Ramiojo vandenynų regione. „Mustin“ tiltelyje į laivo kompiuterius plūdo radarų duomenys. Ant denio budėjimo režimu veikė devyniasdešimt šeši paleidimo įrenginiai – iš kiekvieno paleistos raketos galėjo tiksliai smogti lėktuvams, laivams ar povandeniniams laivams už dešimčių ar net šimtų mylių. Per Šaltojo karo krizes JAV kariuomenė grasindavo apginti Taivaną brutaliai

panaudodama branduolinį ginklą. Šiandien ji remiasi mikroelektronika ir tiksliais smūgiais.

Kai kompiuterizuotos ginkluotės gausiai pripildytas „USS Mustin“ plaukė per sąsiaurį, Liaudies išlaisvinimo armija paskelbė rengianti seriją atsakomųjų kovinių pratybų aplink Taivaną, imituodama tai, ką vienas Pekino kontroliuojamas laikraštis pavadino „suvienijimo panaudojant jėgą operacija“. Tačiau būtent tądien Kinijos lyderiai nerimavo ne tiek dėl JAV karinio jūrų laivyno, kiek dėl paslaptingo JAV prekybos departamento reglamento, vadinamojo „subjektų sąrašo“ (*Entity list*), kuris riboja amerikietišką technologijų pardavimą užsienyje. Anksčiau subjektų sąrašai pirmiausia naudoti siekiant neleisti prekiauti karinėmis sistemomis, pavyzdžiui, raketų dalimis ar branduolinėmis galvutėmis. Tačiau dabar JAV vyriausybė ėmėsi labai griežtinti taisykles, taikomas kompiuterių lustams, kurių gausu tiek karinėse sistemose, tiek plataus vartojimo prekėse.

Reglamentu taikytasi į Kinijos technologijų milžinę „Huawei“, prekiaujančią išmaniaisiais telefonais, telekomunikacijų įranga, kitomis pažangiomis technologijomis ir siūlančią debesų kompiuterijos paslaugas. JAV baiminosi, kad, kadangi „Huawei“ produktų kainos šiuo metu tokios patrauklios (iš dalies ir dėl Kinijos vyriausybės subsidijų), jie netrukus taps naujos kartos telekomunikacijų tinklų pagrindu. Amerika netektų dominavimo pasaulio technologijų infrastruktūroje. Padidėtų Kinijos geopolitinė įtaka. Siekdamas atremti šią grėsmę, JAV uždraudė „Huawei“ pirkti technologiškai pažangius kompiuterių lustus, pagamintus pagal JAV technologijas.

Netrukus bendrovės pasaulinė plėtra sustojo. Tapo neįmanoma pagaminti ištisų produktų grupių. Pajamos smuko. Verslo milžinė ėmė dusti nuo technologijų trūkumo. „Huawei“ suvokė, kad, kaip ir visos kitos Kinijos kompanijos, ji visiškai priklausoma nuo užsieniečių, gaminančių lustus, o nuo šių savo ruožtu priklauso visa šiuolaikinė elektronika.

Jungtinės Valstijos vis dar dominuoja silicio lustų – lustų, kurių garbei pavadintas Silicio slėnis, – srityje, nors ta padėtis pavojingai susilpnėjo. Dabar Kinija kasmet daugiau išleidžia importuodama lustus nei naftą. Šių puslaidininkių rasite visų rūšių įrenginiuose – nuo išmaniųjų telefonų iki šaldytuvų, kuriuos Kinija parduoda šalyje arba eksportuoja į visą pasaulį. Vadinamieji „fotelio strategai“ kuria teorijas apie Kinijos „Malakos dilemą“ – turėdami omenyje pagrindinį laivybos kanalą tarp Ramiojo ir Indijos vandenynų – ir šalies galimybes gauti naftos bei kitų prekių atsargų ištikus krizei. Tačiau Pekinas labiau nerimauja dėl blokados, kuri matuojama ne bareliais, o baitais. Kinija skiria savo geriausius protus ir milijardus dolerių puslaidininkių technologijoms kurti, siekdama išsilaisvinti iš amerikietiško lustų eksporto suvaržymų.

Jei Pekinui pavyktų, jis pertvarkys pasaulio ekonomiką ir pakeis karinės galios santykį. Antrojo pasaulinio karo baigtį nulėmė plienas ir aliuminis, o netrukus po jo stojo Šaltasis karas, kurio svertu tapo atominės bombos. Jungtinių Valstijų ir Kinijos varžymąsi galima apibrėžti skaičiavimo galia. Strategai Pekine ir Vašingtone dabar supranta, kad visoms pažangioms technologijoms – nuo mašininio mokymosi iki raketų sistemų, nuo automatizuotų transporto priemonių iki kovinių dronų – reikia pažangiausių lustų, formaliai vadinamų integriniais grandynais. Didžiumą jų pagamina saujelė įmonių.

Retai susimąstome apie lustus, tačiau būtent jie sukūrė šiuolaikinį pasaulį. Valstybių likimas priklauso nuo gebėjimo panaudoti skaičiavimo galią. Šiuolaikinė globalizacija neegzistuos be prekybos puslaidininkiais ir elektronikos gaminiais, kurie sukuriama lustų pagrindu. Amerikos pirmavimas karyboje įmanomas daugiausia dėl jos gebėjimo pritaikyti lustus kariniams tikslams. Įspūdingą Azijos pastarojo pusšimčio metų augimą nulėmė silicis, mat auganti žemyno ekonomika ėmė specializuotis lustų gamyboje ir

kompiuterių bei išmaniųjų telefonų surinkimo srityje, šie prietaisai be integrinių grandynų neveiktų.

Duomenų apdorojimo esmė – būtina daugybė milijonų vienetų ir nulių. Visa skaitmeninė visata sudaryta iš šių dviejų skaitmenų. Kiekvienas „iPhone“ mygtukas, kiekvienas el. laiškas, nuotrauka ir „YouTube“ vaizdo įrašas – visa tai galiausiai tėra be galo ilgų vienetų bei nulių eilučių kodas. Visgi šie skaitmenys iš tikrųjų neegzistuoja. Tai elektros srovių, kurios arba teka (1), arba neteka (0), išraiškos. Lustas – tai milijonų ar milijardų tranzistorių, mažų elektros jungiklių, tinklelis, – jie įjungiami ir išjungiami tiems skaitmenims apdoroti, įkelti į atmintį ir realiojo pasaulio vaizdams bei garsams, kuriuos patiriame savo pojūčiais, taip pat radijo bangoms konvertuoti į milijonų milijonus vienetų ir nulių.

Eskadriniam minininkui „USS Mustin“ plaukiant į pietus, gamyklos ir surinkimo cechai abipus sąsiaurio dideliais kiekiais gamino „iPhone 12“ komponentus – tebuvo likę du mėnesiai iki jo pristatymo 2020 metų spalį. Maždaug ketvirtadalį lustų pramonės pajamų teikia telefonai; didžioji naujo telefono kainos dalis tenka puslaidininkiams viduje. Pastarąjį dešimtmetį kiekvienos kartos telefonai „iPhone“ turėdavo tuo metu pažangiausius pasaulyje procesorius. Iš viso, kad išmanusis telefonas veiktų, reikia daugiau nei tuzino puslaidininkių – įvairūs lustai valdo akumuliatorių, „Bluetooth“, „Wi-Fi“, mobiliųjų ryšį, garsą, fotoaparata ir kita.

Kiek iš šių lustų pagamina „Apple“? Nulį. Ji perka tai, kas siūloma rinkoje: atminties lustus iš Japonijos „Kioxia“, radijo dažnio lustus iš Kalifornijos „Skyworks“, garso lustus iš „Cirrus Logic“, įsikūrusios Ostine, Teksaso valstijoje. „Apple“ pati kuria itin sudėtingus procesorius, kurie užtikrina operacinės sistemos veikimą telefonuose „iPhone“. Tačiau Kupertine, Kalifornijoje, įsikūręs kolosas nesugeba gaminti šių lustų. Taip pat negamina jų jokios įmonės JAV, Europoje, Japonijoje ar Kinijoje. Šiandien pažangiau-

sius „Apple“ procesorius, kurie, be abejo, yra išmaniausi pasaulyje puslaidininkiai, gali pagaminti vienintelė viename pastate įsikūrusi įmonė, brangiausia gamykla žmonijos istorijoje, įmonė, kuri 2020 metų rugpjūčio 18 d. rytą buvo vos už poros dešimčių mylių nuo „USS Mustin“ dešiniojo borto.

Puslaidininkių gamyba ir jų miniatiūrizavimas – didžiausias mūsų laikų inžinerinis iššūkis. Šiandien nė viena įmonė negamina lustų tiksliau nei Taivano puslaidininkių gamybos įmonė „Taiwan Semiconductor Manufacturing Company“, labiau žinoma TSMC pavadinimu. 2020 metais, kai pasaulis blaškėsi slegiamas ribojimų, priimtų dėl viruso, kurio skersmuo bene šimtas nanometrų (milijardinių metro dalių), itin pažangioje TSMC puslaidininkių gamykloje „Fab 18“ buvo raižomi mikroskopiniai mažų – mažesnių nei pusė koronaviruso, šimtą kartų mažesnių nei mitochondrija – tranzistorių labirintai. TSMC kartojo šį procesą tokiu mastu, kokio iki tol žmonijos istorijoje nebūta. „Apple“ pardavė daugiau nei 100 milijonų „iPhone 12s“ – kiekvienam jų skaičiavimo galią teikia A14 procesoriaus lustas su 11,8 milijardo mažų tranzistorių. Vos per kelis mėnesius ir tik vienam iš daugybės „iPhone“ sudarančių lustų, TSMC „Fab 18“ pagamino gerokai daugiau nei kvintilijoną tranzistorių – o tai yra vienetas su aštuoniolika nulių. Praėjusiais metais lustų pramonė pagamino daugiau tranzistorių nei įvairių prekių pagamino visos kitos visų kitų pramonės sričių įmonės kartu sudėjus per visą žmonijos istoriją. Tai neprilygstama.

Vos prieš šešiasdešimt metų pažangiausiame luste tranzistorių būdavo ne 11,8 milijardo, o keturi. 1961 metais į pietus nuo San Fransisko įsikūrusi nedidelė įmonė „Fairchild Semiconductor“ paskelbė apie naują produktą, pavadintą „Micrologic“ – silicio lustą su keturiais tranzistoriais. Netrukus bendrovė sugalvojo būdą, kaip į lustą įdėti keliolika tranzistorių, vėliau – ir šimtą. „Fairchild“ įkūrėjas Gordon’as Moore’as 1965 metais pastebėjo, kad komponentų, kurie galėtų tilpti į kiekvieną lustą, skaičius kasmet padvigubėja,

mat inžinieriai išmoko gaminti vis mažesnius tranzistorius. Ši prognozė – kad lustų skaičiavimo galia augs eksponentiškai – pavadinta „Moore'o dėsnis“, ji paskatino Moore'ą numatyti įrenginių, kurie 1965 metais atrodė neįmanomai futuristiški, išradimą, tai, pavyzdžiui, „elektroninis rankinis laikrodis“, „namų kompiuteris“ ir netgi „asmeninis nešiojamojo ryšio įrenginys“. 1965-aisiais, žvelgdamas į ateitį, Moore'as prognozavo, kad tas eksponentinis augimas truks dešimtmetį, tačiau šis stulbinantis pažangos tempas tęsėsi daugiau nei pusę amžiaus. 1970 m. antroji Moore'o įkurta įmonė „Intel“ pristatė atminties lustą, lusto talpa – 1 024 informacijos vienetai, bitai. Jis kainavo apie 20 dolerių – maždaug du centai už bitą. Šiandien už 20 dolerių gali nusipirkti nykščio dydžio ir gerokai daugiau nei milijardo bitų talpos diską.

Kai šiandien galvojame apie Silicio slėnį, mus užvaldo socialinių tinklų ir programinės įrangos kompanijų vaizdai, o ne medžiagos, pagal kurią slėnis ir pavadintas. Tačiau internetas, debesija, socialinė medija ir visas skaitmeninis pasaulis egzistuoja tik todėl, kad inžinieriai išmoko valdyti subtiliausius elektronų, lakstančių silicio plokštelėmis, judesius. Stambiosios informacinių technologijų įmonės („Big Tech“) neegzistuos, jei vienetų ir nulių apdorojimo ir įsiminimo išlaidos per pastarąją pusę amžiaus nebūtų sumažėjusios milijardą kartų.

Šis neįtikėtinas laimėjimas – puikių mokslininkų ir Nobelio premijos laureatų fizikų darbo rezultatas. Tačiau ne kiekvienas išradimas leidžia sukurti sėkmingą startuolį, ne kiekvienas startuolis sukuria naują pramonės šaką, kuri pakeičia pasaulį. Puslaidininkiai paplito visuomenėje, nes įmonės išrado naujų metodų, kaip juos pagaminti milijonais, nes ambicingi vadovai atkakliai dirbdami sumažino jų savikainą, be to, todėl, kad kūrybingi antreprenieriai sumanė, kaip tai galima panaudoti naujai. Moore'o dėsnis pasirodė esąs tikslus tiek gamybos ekspertų, tiekimo specialistų ir rinkodaros vadovų, tiek fizikų ar elektros inžinierių dėka.

Šios revoliucijos epicentru tapo į pietus nuo San Fransisko esantys miestai, kurių iki XX a. 8 dešimtmečio niekas nevadino Silicio slėniu – jie sutelkė mokslinę patirtį, gamybos žinias ir vizionierišką verslininkų mąstymą. Kalifornijoje buvo daug Stanfordą ar Berklį (universitetus, kurie remti ir iš gynybos biudžeto, nes JAV kariuomenė siekė įtvirtinti savo technologinį pranašumą) baigusių inžinierių, parengtų dirbti aviacijos ar radioinžinerijos srityse. Vis dėlto buvo svarbi ne tik ekonomikos struktūra, bet ir Kalifornijos kultūrinė aplinka. Žmonės, palikę Amerikos rytinę pakrantę, Europą ir Aziją tam, kad sukurtų lustų pramonę, savo sprendimą persikelti į Silicio slėnį dažnai motyvuodavo beribių galimybių trauka. Protingiausiems pasaulio inžinieriams ir kūrybingiausiems antreprenieriams tai buvo tiesiog pati įdomiausia vieta.

Kai lustų pramonė susiformavo, tapo akivaizdu, kad Silicio slėnis nuo jos neatsiejamas. Šiuolaikinei puslaidininkių tiekimo grandinei reikia komponentų iš daugelio miestų ir šalių, tačiau kone kiekvienas lustas vis dar turi Silicio slėnio jungtį arba yra gaminamas naudojant Kalifornijoje suprojektuotas ir pagamintas priemones. Didžiulis Amerikos mokslinės patirties, vyriausybės paskatintos finansuojant mokslinius tyrimus ir sustiprintos gebėjimu pritraukti geriausius kitų šalių mokslininkus, rezervas suteikė fundamentalių žinių, sudarė sąlygas technologijų pažangai. Šalies rizikos kapitalo įmonių tinklas ir jos akcijų rinkos pradedančiajam verslui suteikė reikiamą kapitalą ir negailestingai išstūmė žlungančias įmones. Tuo tarpu didžiausia pasaulyje vartotojų rinka Jungtinėse Valstijose skatino augimą, iš to finansuoti dešimtmečius trukę naujų rūšių lustų moksliniai tyrimai ir jų plėtra.

Kitos šalys suprato atsiliekančios, tačiau joms pavyko integruotis į Silicio slėnio tiekimo grandines. Europa turi puslaidininkių srities pavienių „salų“, iš kurių verta pažymėti lustams padaryti reikalingos įrangos gamybą ir lustų architektūros projektavimą. Azijos šalių vyriausybės Taivane, Pietų Korėjoje ir Japonijoje pra-

siskynė vietą lustų pramonėje subsidijuodamos įmones, finansuodamos mokymo programas, devaluodamos savo valiutas ir įvesdamos muitus importuojamiems lustams. Ši strategija suteikė tam tikrų galimybių, kurių negalėjo atkartoti jokios kitos šalys, tačiau tai, ką turi, jos pasiekė bendradarbiaudamos su Silicio slėniu ir toliau – iš esmės pasikliaudamos JAV priemonėmis, programine įranga ir klientais. O sėkmingiausios Amerikos lustų įmonės sukūrė tiekimo grandines (jos nusidriekė per visą pasaulį), sumažino gamybos kaštus ir įgijo patirties, dėl kurios Moore'o dėsnis tapo realybe.

Kaip ir numatė Moore'o dėsnis, šiandien puslaidininkių rasi-
te kiekviename įrenginyje, kuriam, kad jis veiktų, reikia apdoroti duomenis, – interneto amžiuje tai reiškia kone kiekvieną įrenginį. Net jau šimtą metų gaminamuose produktuose, pavyzdžiui, automobiliuose, dabar dažnai integruota tūkstančio dolerių vertės lustų. Didžioji pasaulio BVP dalis pagaminama naudojant įrangą, priklausomą nuo puslaidininkių. Gaminiui, kurio prieš septyniasdešimt penkerius metus nė nebūta, tai yra nepaprasta sėkmė.

Kai 2020 metų rugpjūtį „USS Mustin“ traukė į pietus, pasaulis buvo tik pradėjęs suvokti puslaidininkių svarbą ir priklausomybę nuo Taivano, gaminančio lustus, kurie savo ruožtu generuoja trečdali naujos kasmet reikalingos duomenų apdorojimo galios. Taivano TSMC sukuria beveik visus pažangiausius pasaulyje procesorių lustus. 2020 metais į pasaulį įsiveržęs COVID sutrikdė ir lustų pramonę. Kai kurios gamyklos buvo laikinai uždarytos. Automobiliams skirtų lustų nupirka mažiau. Kompiuterių ir duomenų centrų lustų paklausa šoktelėjo aukštyn, nes didžioji pasaulio dalis ruošėsi dirbti iš namų. Po to 2021 metais pasipylė nelaimingi atsitikimai dar pablogino situaciją: gaisras Japonijos puslaidininkių gamykloje, ledų kruša Teksase – JAV valstijoje, kur pagaminama daugiausia lustų, – ir vėl įvestas su COVID susijęs karantinas Malaizijoje, kur surenkama ir išbandoma daug lustų. Staiga daugelis

pramonės šakų, esančių toli nuo Silicio slėnio, susidūrė su sekinančiu lustų trūkumu. Didieji automobilių gamintojai nuo „Toyota“ iki „General Motors“ turėjo kelioms savaitėms uždaryti gamyklas, nes negalėjo įsigyti reikiamų puslaidininkių. Net paprasčiausių lustų trūkumas lėmė gamyklų uždarymą kitoje pasaulio pusėje. Atrodė, kad tobulas globalizacijos įvaizdis sudužo.

JAV, Europos ir Japonijos politiniai lyderiai ištisais dešimtmečiais apie puslaidininkius daug nemąstė. Kaip ir eiliniai žmonės, jie manė, kad informacinės technologijos – tai paieškos sistemos ar socialiniai tinklai, o ne silicio plokštelės. Kai Džo Baidenas ir Angela Merkel teiravosi, kodėl jų šalių automobilių gamyklos uždarytos, atsakymas slypėjo gluminančiai sudėtingose puslaidininkių tiekimo grandinėse. Tipišką lustą pagal japonams priklausančios Jungtinėje Karalystėje įsikūrusios įmonės „Arm“ brėžinius gali sukurti Kalifornijos ir Izraelio inžinierių komanda, naudodamasi Jungtinių Valstijų projektavimo programine įranga. Baigtas projektuoti lustas siunčiamas į gamyklą Taivane, kuri perka itin grynas silicio plokšteles ir specializuotąsias dujas iš Japonijos. Suprojektuoto lusto architektūra išraižoma silicyje naudojant tiksliausias pasaulyje mašinas, galinčias raižyti, ėsinti ir išmatuoti kelių atomų storio medžiagos sluoksnius. Daugiausia šių įrenginių – be jų pažangūs lustai iš esmės negalėtų išvysti dienos šviesos – pagamina penkios įmonės: viena olandų, viena japonų ir trys Kalifornijos. Tada lustas supakuojamas, išbandomas (dažnai Pietryčių Azijoje) ir išsiunčiamas į Kiniją, ten tampa telefono ar kompiuterio dalimi.

Jei kuris nors iš puslaidininkių gamybos proceso etapų sutrinka, visame pasaulyje kyla pavojus, kad pritrūks naujos skaičiavimo galios. Dirbtinio intelekto amžiuje dažnai sakoma, kad duomenys tarsi naujoji nafta. Tačiau tikrasis apribojimas, su kuriuo susiduriame, yra ne duomenų prieinamumas, o apdorojimo galia. Tėra keletas puslaidininkių, kuriuos pasitelkus galima saugoti ir apdoroti duomenis. Jų gamyba nesuvokiamai sudėtinga ir siaubingai brangi.

Skirtingai nuo naftos, kurios galima nusipirkti iš daugelio šalių, skaičiavimo galią teikianti gamyba iš esmės priklauso nuo daugybės kritiškai svarbių veiksnių: priemonių, cheminių medžiagų ir programinės įrangos, – tai dažnu atveju gamina saujelė įmonių, o kartais – vienintelė. Joks kitas ekonomikos aspektas nėra toks priklausomas nuo tiek mažai įmonių. Lustai iš Taivano kasmet suteikia 37 procentus naujos pasaulio skaičiavimo galios. Dvi Pietų Korėjos kompanijos pagamina 44 procentus pasaulio atminties lustų. Tolimojo ultravioleto litografijos aparatus, be kurių pažangiausių lustų tiesiog neįmanoma pagaminti, tiekia tik Nyderlandų kompanija ASML. Jei palygintume, OPEC tenkanti pasaulinės naftos gamybos dalis, 40 procentų, išpūdžio nedaro.

Pasaulinis kompanijų tinklas, kasmet pagaminantis trilijoną nanometrų tikslumo lustų, yra fantastiškai efektyvus. Visgi tai reiškia ir be galo didelį pažeidžiamumą. Sutrikimai dėl pandemijos – vieni niekai, palyginti su tuo, ką pasaulio ekonomikai galėtų padaryti vienas žemės drebėjimas jautrioje vietoje. Taivasan išsikūręs ant sprūdžio*, dar 1999 metais čia kilo 7,3 balo pagal Richterio skalę žemės drebėjimas. Laimei, tai lustų gamybą sutrikdė tik keletui dienų. Tačiau tik laiko klausimas, kada stipresnis žemės drebėjimas smogs Taivanui. Drebanti žemė gali suniokoti ir Japoniją – žemės drebėjimų krečiamą valstybę, pagaminančią 17 procentų pasaulio lustų, arba Silicio slėnį, kuris šiandien gamina nedaug lustų, tačiau surenka svarbias jų gamybos mašinas gamyklose, įsikūrusiose ant San Andreaso sprūdžio.

Tačiau seisminė slinktis, šiandien kelianti didžiausią grėsmę dėl puslaidininkių tiekimo, yra ne tektoninių plokščių, o didžiųjų valstybių galių susidūrimas. Kinijai ir Jungtinėms Valstijoms kovojant dėl viršenybės pasaulyje, tiek Vašingtonas, tiek Pekinas yra pasiryžę kontroliuoti kompiuterizacijos ateitį – ir ta ateitis bauginamai

* Sprūdis – litosferos plokščių arba jų sluoksnių pasislinkimas žemyn arba aukštyn. (Čia ir toliau – red. past.)

priklauso nuo mažos salos, kurią Pekinas laiko savo maištaujančia provincija, o Amerika yra įsipareigojusi ginti jėga.

Ryšiai tarp lustų pramonės JAV, Kinijoje ir Taivane pribloškiamai sudėtingi. Geriausias pavyzdys – asmuo, įkūręs TSMC – įmonę, kurios dvi didžiausios klientės iki 2020 metų buvo amerikiečių „Apple“ ir kinų „Huawei“. Morris’as Chang’as gimė žemyninėje Kinijoje, užaugo Antrojo pasaulinio karo laikų Honkonge, mokėsi Harvarde, Masačusetso technologijos institute (MIT) ir Stanforde, padėjo sukurti ankstyvąją Amerikos lustų pramonę dirbdamas Dalaso įmonėje „Texas Instruments“; turėdamas JAV saugumo aukščiausio lygio leidimą dirbti su slapta informacija kūrė elektroniką Amerikos kariuomenei ir pavertė Taivaną pasaulinės puslaidininkių gamybos centru. Kai kurie užsienio politikos strategai Pekine ir Vašingtone svajoja atsieti abiejų šalių technologijų sektorius, tačiau itin sudėtingo tarptautinio lustų projektuotojų, cheminių medžiagų tiekėjų ir staklių gamintojų tinklo, sukurto padedant tokiems žmonėms kaip Chang’as, lengvai neišardysi.

Nebent, žinoma, kažkas imtų ir sprogtų. Pekinas kategoriškai atsisakė atmesti galimybę įsiveržti į Taivaną, kad „vėl suvienytų“ jį su žemynine dalimi. Tačiau, norint puslaidininkių pramonei suduoti smūgį, kuris paveiktų viso pasaulio ekonomiką, neprireiktų nieko dramatiško kaip kad amfibijų desantas. Net vykdydamos dalinę blokadą Kinijos pajėgos sukeltų pražūtingų sutrikimų. Vienas raketos smūgis į pažangiausią TSMC lustų gamyklą gali lengvai padaryti šimtus milijardų dolerių žalos, jei įvertintume vėluosiančią telefonų, automobilių, telekomunikacijų tinklą ar duomenų centrų įrenginių ir kitų technologijų gamybą.

Tai vienas pavojingiausių Žemėje politinių ginčų – pasaulio ekonomiką laikyti jo įkaite gali atrodyti kaip istorinio masto klaida. Tačiau pažangi lustų gamyba sutelkta Taivane, Pietų Korėjoje ir kitur Rytų Azijoje neatsitiktinai. Dabartinės toli nusidriekusios tiekimo grandinės atsirado dėl daugybės sąmoningų sprendimų,

kuriuos priėmė vyriausybių pareigūnai ir įmonių vadovai. Didžiulis Azijos pigios darbo jėgos potencialas pritraukė lustų gamintojus, ieškančius gamykloms pigios darbo jėgos. Regiono vyriausybės ir korporacijos naudojosi veikiančiomis lustų surinkimo gamyklomis, kad ištirtų pažangesnes technologijas ir galiausiai jas perimtų. Vašingtono užsienio politikos strategai sudėtingas puslaidininkių tiekimo grandines kūrė ir kaip būdą Azijai su Amerikos vadovaujama pasauliu susieti. Nenumaldomas kapitalizmo ekonominio veiksmingumo poreikis kėlė nuolatinį spaudimą mažinti išlaidas ir įmones jungti į korporacijas. Tolygus jo technologinių naujovių tempas, kuriuo grindžiamas Moore'o dėsnis, reikalavo vis sudėtingesnių medžiagų, mašinų ir procesų, tai buvo galima tiekti ar finansuoti tik per pasaulines rinkas. O mūsų didžiulis skaičiavimo galios poreikis tik auga.

Remiantis archyvų tyrimais trijuose žemynuose – nuo Taipėjaus iki Maskvos – ir daugiau nei šimtu interviu su mokslininkais, inžinieriais, generaliniais direktoriais ir vyriausybių pareigūnais, šioje knygoje teigiama, kad puslaidininkiai nulėmė, kokiam pasaulyje gyvename, nustatė tarptautinės politikos pobūdį, pasaulio ekonomikos struktūrą ir karinės galios pusiausvyrą. Tačiau lusto, moderniausio iš įtaisų, istorija sudėtinga ir ginčijama. Jo atsiradimą nulėmė ne tik korporacijos ir vartotojai, bet ir ambicingos vyriausybės bei karo imperatyvai. Norėdami suprasti, kaip mūsų pasaulį apibrėžė tranzistorių kvintilijonai ir nedidelis skaičius nepakeičiamų kompanijų, turime iš pradžių atsigręžti į silicio amžiaus ištakas.

I DALIS

Šaltojo
karo
lustai

Nuo plieno prie silicio

Japonijos kariai Antrąjį pasaulinį karą apibūdino kaip „plieno taifūną“. Neabejotinai taip jį patyrė Akio Morita – sąžiningas jaunas inžinierius iš pasiturinčios prekiautojų sake šeimos. Morita vos išvengė fronto, paskirtas dirbti Japonijos karinio jūrų laivyno inžinerijos laboratorijoje. Tačiau plieno taifūnas savo kelyje nusiaubė ir Moritos tėvynę – amerikiečių bombonešiai B-29 „Superfortress“ griovė Japonijos miestus, sunaikino didžiąją dalį Tokijo ir kitų administracinių centrų. Šalis buvo ne tik nusiaubta – amerikiečių blokada sukėlė visuotinį badą ir privertė Japoniją imtis desperatiškų veiksmų. Karui baigiantis Moritos broliai buvo rengiami tapti pilotais kamikadzėmis.

Kitoje Rytų Kinijos jūros pusėje gyvenusio Morris'o Chang'o vaikystę lydėjo šūvių garsai ir oro pavojaus sirenos, skelbiančios apie neišvengiamą ataką. Chang'as paauglystėje bėgo nuo japonų armijos, užtvindžiusios Kiniją: kėlėsi į Guangdžou, tuometę britų koloniją Honkongą, Kinijos karo metų sostinę Čongčingą, o po Japonijos pralaimėjimo grįžo į Šanchajų. Bet ir tuomet karas iš tikrųjų nesibaigė, nes komunistų rėmėjai atnaujino kovą prieš Kinijos vyriausybę. Netrukus Mao Dzedungo pajėgos jau marširavo Šanchajuje. Morris'as Chang'as vėl tapo pabėgėliu ir buvo priverstas antrą kartą sprukti į Honkongą.

Budapeštas – kitoje pasaulio pusėje, tačiau Andy’ui Grove’ui irgi teko pergyventi plieno taifūną, panašų į tą, kuris nusiaubė visą Aziją. Andy’is (arba Andras’as Grof’as – taip jis tuo metu buvo žinomas) išgyveno Budapešto užėmimą keliskart. Vengrijos ultradešinioji valdžia žydus, kaip kad Grove’ų šeimą, laikė antrarūšiais piliečiais, tačiau, prasidėjus karams Europoje, jo tėvas buvo priverstas pradėti karo tarnybą: išsiųstas kovoti prieš Sovietų Sąjungą Vengrijos – nacių sąjungininkės – kariuomenėje. Vėliau pranešta, kad dingo be žinios Stalingrade. 1944 metais naciai užpuolė Vengriją, buvusią sąjungininkę, pasiuntė tankų kolonas į Budapeštą ir pranešė apie planus išsiųsti Grove’o tautiečius į masinio naikinimo stovyklas. Dar būdamas vaikas, Grove’as vėl išgirdo artilerijos griaudėjimą beveik po metų, kai Raudonosios armijos kariai „išlaisvindami“ Vengriją žengė į jos sostinę. Jie išprievartavo Grove’o motiną ir, pakaitę nacių, įvedė žiaurų marionetinį režimą.

Nesibaigiančios tankų kolonos, lėktuvų eskadrilės, tūkstančiai tonų iš dangaus krintančių bombų, laivų konvojai, lydintys gabnamus sunkvežimius, kovos mašinas, naftos produktus, lokomotyvus, traukinių vagonus, artileriją, šaudmenis, anglis ir plieną – Antrasis pasaulinis karas buvo varžymasis, kurios pusės pramonė išseks. Jungtinės Valstijos to ir siekė: pramoninis karas buvo kova, kurią Amerika galėjo laimėti. Vašingtone Karinės gamybos valdybos ekonomistai sėkmę matavo vario ir geležies, kaučiuko ir naftos, aliuminio ir plieno kiekiais – Amerika gamybinius pajėgumus pavertė karine galia.

Jungtinės Valstijos pagamino daugiau tankų nei visos Ašies valstybės kartu sudėjus, daugiau laivų, daugiau lėktuvų ir du kartus daugiau pabūklų ir kulkosvaidžių nei Ašies pramonė. Pramonės gaminių vilkstinės driekėsi nuo Amerikos uostų per Atlanto bei Ramųjį vandenynus, aprūpindamos Jungtinę Karalystę, Sovietų Sąjungą, Kiniją ir kitą sąjungininkę svarbiausiomis kovos priemonėmis. Karo lauke kovojo kariai Stalingrade ir jūreiviai Midvėjaus

salose. Tačiau tai, kas nusakoma kaip kovinė galia, tiekė amerikiečių „Kaiser“ laivų statyklos ir River Ružo konvejeriai.

1945 metais per radiją visame pasaulyje paskelbta, kad karas pagaliau baigėsi. Tokijo užmiestyje paradinę uniformą vilkintis jaunas inžinierius Akio Morita klausėsi imperatoriaus Hirohito kapituliacijos kalbos – klausėsi kalbos vienas, ne su kitais jūrų laivyno karininkais, kad nebūtų verčiamas atlikti ritualinės savižudybės. Kitame Rytų Kinijos jūros krante Morris’as Chang’as šventė karo pabaigą bei Japonijos pralaimėjimą ir netrukus sugrįžo prie nerūpestingos paauglystės su draugais: teniso, filmų ir kortų žaidimų. Vengrijoje Andy’is Grove’as su savo motina jau atsargiai išlįsdavo iš slėptuvės, nors per sovietų okupaciją jie dar prisikentės ne ką mažiau nei per patį karą.

Antrojo pasaulinio karo rezultatus nulėmė pramonės produkcija – jau tuomet buvo aišku, kad naujos technologijos keičia karinę galią. Galingosios valstybės gamino tūkstančius lėktuvų ir tankų, tačiau jos taip pat steigė tyrimų laboratorijas, šiose buvo kuriami nauji įrenginiai, kaip antai raketos bei radarai. Dvi branduolinės bombos, kurios sunaikino Hirošimą ir Nagasakį, daugelį vertė spėlioti, kad aušta atominis amžius, pakeisiantis anglių ir plieno erą.

1945 metais Morris’as Chang’as ir Andy’s Grove’as tebuvo moksliviai, pernelyg jauni, kad rimtai mąstytų apie technologijas ar politiką. Tuolaik Akio Morita, įžengęs į trečiąją dešimtį, paskutiniaisiais karo mėnesiais konstravo raketas, reaguojančias į šilumą. Japonijai buvo toli iki valdomųjų raketų, tačiau šis projektas suteikė Moritai ateities viziją. Jau galėjai įsivaizduoti karus, kuriuos laimėtų ne kniedytojai prie konvejerio, o ginklai, galintys aptikti taikinius ir autonomiškai manevruoti. Tai atrodė lyg mokslinė fantastika, tačiau Morita ši bei tą buvo girdėjęs apie naujausius elektroninio skaičiavimo pasiekimus – mašinos buvo bepradedančios „galvoti“, tai yra spręsti matematikos uždavinius, pavyzdžiui, sudėti, padauginti ar ištraukti šaknį.

Žinoma, idėja skaičiuoti naudojant prietaisus nebuvo nauja. Nuo tada, kai *Homo sapiens* išmoko skaičiuoti, žmonės lenkė pirštus. Senovės babiloniečiai išrado skaitytuvą, skirtą manipuliuoti dideliais skaičiais, tad šimtmečiais žmonės daugindavo ir dalydavo perslinkdami medinius karoliukus mediniais strypeliais. XIX amžiaus pabaigoje–XX amžiaus pradžioje verslo ir biurokratinės plėtra subrandino žmogiškųjų „kompiuterių“ poreikį – reikėjo biuro darbuotojų, apsirūpinusių rašikliais, popieriumi ir retkarčiais, paprastais mechaniniais skaičiuotuvais (su krumpliaračiais), kurie gali sudėti, atimti, dauginti, dalyti ir ištraukti paprastą kvadratinę šaknį.

Šie gyvi, kvėpuojantys „kompiuteriai“ galėjo skaičiuoti atlyginimus, stebėti pardavimo procesą, rinkti surašymų rezultatus bei analizuoti duomenis apie gaisrus ir sausras – viską, ko reikia draudimo polisų kainoms nustatyti. Per Didžiąją depresiją Amerikos darbo pažangos administracija, siekdama įdarbinti bedarbius biurų darbuotojus, ėmėsi Matematinių lentelių projekto. Keletas šimtų žmogiškųjų „kompiuterių“ sėdo prie eilėmis sustatytų darbo stalų Manhatano biurų pastate ir sudarinėjo logaritmų bei eksponentinių funkcijų rezultatų lenteles. Projekto rezultatas buvo dvidešimt aštuoni tomai sudėtingų funkcijų rezultatų, pavyzdžiui, „Sveikųjų skaičių nuo 100 000 iki 200 009 atvirkštinių skaičių lentelės“ – 201 puslapis lentelių.

Sutelktos žmogiškųjų „skaičiuotuvų“ grupės parodė skaičiavimo galimybes, tačiau taip pat ir smegenų gebos ribas. Žmonės, net naudodamiesi mechaniniais skaičiuotuvais, dirbo lėtai. Bet kuris norintysis rasti tam tikro logaritmo ar eksponentinės funkcijos rezultatą naudodamasis projektinių Matematinių lentelių duomenimis, turėjo vartyti vieną iš dvidešimt aštuonių tomų. Kuo daugiau skaičiavimo, tuo daugiau puslapių tekdavo peržvelgti.

O skaičiavimo poreikis ir toliau didėjo. Jau prieš Antrojo pasaulinio karo pradžią buvo investuojama į projektus, siekiančius su-

kurti galingesnius mechaninius kompiuterius, karas skaičiavimo galios siekius dar labiau paspartino. Keleto šalių oro pajėgos išrado mechaninius bombų taikiklius, padedančius orlaivių šauliams pataikyti. Bombonešio įgula įvesdavo vėjo greitį ir aukštį sukdama velenus, velenai judindavo metalines svirtis, reguliuojančias stiklinius veidrodžius. Šie velenai ir svirtys „apskaičiuodavo“ aukštį ir kampus tiksliau nei bet kuris pilotas, išsižiūrintis lėktuvui artėjant prie tikslo. Visgi buvo akivaizdu, kad šių įtaisų geba ribota. Tokie taikikliai, orientuodamiesi tik pagal keleto įvestų parametrų, teikdavo vienintelį rezultatą: kada numesti bombą. Idealesiomis bandymų sąlygomis amerikietiški bombų taikikliai buvo tikslesni nei pilotų intuicija. Tačiau tik 20 procentų amerikiečių bombų, numestų virš Vokietijos, nukrito trijų šimtų metrų spinduliu nuo taikinio. Karą nulėmė numestų bombų ir iššautų artilerijos sviedinių skaičius, o ne mechaninių kompiuterių diskai, kuriuos naudojant buvo bandoma nukreipti sprogstamuosius įtaisus – dažniausiai tai nepavykdavo.

Norint didesnio tikslumo reikėjo daugiau skaičiavimų. Inžinieriai galiausiai ėmė keisti koncepciją: vietoje senuosiuose kompiuteriuose naudotų mechaninių komponentų taikyti elektros iškrovas. Ankstyvuosiuose elektriniuose kompiuteriuose naudotos elektroninės lempos – metaliniai siūlai uždaruose stiklo korpusuose, išties primenančiuose kaitrines lemputes. Elektros srovės tiekimas į lempą galėjo būti įjungiamas arba išjungiamas judesiu, labai panašiu į skaitytuvo karoliukų perslinkimą mediniais strypeliais. Įjungta elektroninė lempa buvo koduojama kaip vienetas, o išjungta – kaip nulis. Šie du skaitmenys naudojant dvejetainio skaičiavimo sistemą galėjo pateikti bet kokių skaičių, taigi teoriškai galėjo atlikti įvairiausias skaičiavimo operacijas.

Be to, elektroninės lempos sudarė galimybę šiuos skaitmeninius kompiuterius perprogramuoti. Mechaninės įtaisų, pavyzdžiui, bombų taikiklių, dalys gebėjo atlikti tik vieną skaičiavimo ope-

raciją, nes kiekvienas velenas buvo fiziškai susietas su svirtimis ir krumpliaračiais. Skaitytuvo karoliukus ribojo strypeliai, kuriais jie judėjo pirmyn atgal. O elektroninių lempų jungtys galėjo būti pertvarkomos, kad kompiuteris atliktų įvairius skaičiavimus.

Tai buvo pažanga, tiksliau, būtų buvusi pažanga, jei ne naktiniai drugiai. Kadangi elektroninės lempos švietė it kaitrinės lemputės, jos traukė vabzdžius – operatoriams nuolat tekdavo juos šalinti. Visai kaip ir apšvietimo lemputės, elektroninės lempos dažnai perdegdavo. JAV armijai 1945 metais Pensilvanijos universiteto sukurtas pažangiausias kompiuteris ENIAC, skirtas artilerijos trajektorijoms apskaičiuoti, turėjo aštuoniolika tūkstančių elektroninių lempų. Paprastai kas dvi dienas viena šių lempų sugesdavo, tad stabdydavo visą mašiną ir versdavo technikus ropomis ieškoti sugedusios dalies, ją pakeisti. ENIAC galėjo dauginti šimtus skaičių per sekundę – greičiau nei bet kuris matematikas. Tačiau užėmė visą patalpą, nes kiekviena iš tų aštuoniolikos tūkstančių lempų buvo kumščio dydžio. Elektroninių lempų technologija akivaizdžiai pernelyg griozdiška, per lėta ir labai jau nepatikima. Kol kompiuteriai buvo baisuokliai, traukiantys vabzdžius, juos tiko taikyti tik tokiose nišinėse srityse kaip kodų iššifravimas. Mokslininkai privalėjo rasti mažesnę, spartesnę srovės jungiklį.