

Moji spomini na prvi pristanek človeka na Luni in njegov vpliv name

Oda inženiringu, tehnologiji in organizaciji dela

Marija Strojnik

Doktor optične znanosti

Magister fizike, optične znanosti in vodenja inženiringa

V svetu mojih spominov se je leto 1969 zgodilo pred nekaj kratkimi leti. Spominjam se ga, kot bi bilo včeraj. Mogoče zato, ker sem vse življenje delala tako intenzivno, da sem se pozabila starati, ali pa zato, ker moja osebnost mojo preteklost in prihodnost neizogibno vključuje v mojo sedanost.

Junija 1969 sem, po osmih letih latinščine in dveh letih grščine (poleg tradicionalnih predmetov) končala Šubičevo gimnazijo (danes Plečnikova) z odličnim uspehom. Maturitetno nalogo sem napisala o elektronski mikroskopiji. Ko sem temo študirala, sem se naučila fizikalnega pomena aberacij. Aberacija v optiki oziroma znanosti o svetlobi in instrumentih, ki razširjajo obseg človeškega vida v barvah in po velikosti, pomeni, da slika ni čisto verna ali podobna upodobljenemu predmetu. Te jasne razlage sem kasneje uporabljala pri predavanjih v razredih optičnega inženirstva, kjer se seveda najprej uporablja veliko enačb in teorije, danes pa tudi najboljši računalniki. Zadnji dan šole, v začetku poletja 1969, sem se vpisala na Oddelek za fiziko Fakultete za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani.

Ob koncu gimnazije sem dobila nagrado kot najboljši dijak razreda. Svojim otrokom sem ob različnih priložnostih razlagala o odličnosti in iskanju popolnosti v življenju: v razredu osemindvajsetih dijakov (zadnja štiri leta so bili isti dijaki, mnogi izmed njih so bili sošolci celo osem let) smo imeli prvaka v matematiki, več pesnikov, politika, mislece (danes pomembni filozofi), dijake,

ki so govorili tekoče več jezikov, igralce, glasbenike in športnike. Moji šolski prijatelji so bili izjemna zbirka mladih ljudi in so povzročali resne zadrege učiteljem in oblasti!

V času prvega človekovega pristanka na Luni 20. julija 1969 je bil moj oče že eno leto v ZDA, na Univerzi Cornell v New Yorku, prej pa je preživel celo leto v Avstraliji. Moja mama je večkrat ostala pri očetu nekaj mesecev in tako je bilo tudi v času prvega človekovega koraka na Luni. Moje zadolžitve so bile doma, opravljala sem gospodinjska dela in se držala napotkov staršev, naj tam tudi ostajam. Morala sem skrbeti za stanovanje, čiščenje, nakupovanje hrane, za potrebe bratov (takrat starih 22, 20, 16 in 13 let), za hišo in avto, za plačevanje računov in izplačilo denarja bratom po potrebah in njihovih dogovorih s starši. Bila sem »odgovorna«, kar je pomenilo, da sem večino časa preživela v skrbi za dobro drugih. Moji bratje so hodili naokrog s prijatelji, zato sem doma preživela poletje kot gospodinja, malo v družbi pet let mlajšega brata, pa šivanja, branja knjig, poslušanja glasbe, čiščenja, likanja in vodenja psa na sprehod. Moja najboljša prijateljica je počitnice preživljala s starši na morju.

Ni mi bilo v navadi, da bi gledala televizijo, med šolskim letom za to niti nisem imela časa. Od tretjega razreda naprej sta me ob šestih zjutraj zbudili dve budilki, deset minut narazen, da sem navsezgodaj šla v mlekarno in kupila šest litrov mleka in dva hlebca kruha. Nekega dne sem med branjem časopisa izvedela, da bodo ZDA oziroma neka ameriška televizijska družba vsak dan več ur prenašali priprave za pristanek na Luni in nato tudi sam pristanek. Med dolgimi, vročimi, soparnimi ljubljanskimi počitnicami se mi je zdelo, da bo spremljanje teh prenosov krasna uporaba mojega sicer slabo uporabljenega časa. Že takrat je bilo moje vodilo: »Mogoče se pa česa naučim?« Zato sem se odločila, da si pristanek na Luni ogledam v prostem času. Presenetilo me je, da so ga prenašali po vsej Zemlji.

* * *

Oddaje o pristanku na Luni so me napolnile z novimi občutki, ki so me preplavili ali celo šokirali: za nekatere je bila povod tehnika, drugi so bili popolnoma čustveni in tretji občutki nejevere – nejevere, da je človeštvu uspel tak podvig. Pozneje sem ta dosežek razumela kot posledico politično-ekonomskih okoliščin. Teh konceptov takrat še nisem niti dovolj cenila niti dobro razumela, vse skupaj pa je imelo name neverjeten in dolgotrajen vpliv in sem o njih razmišljala še leta pozneje. Moj svet pri osemnajstih letih so bili Kranjska gora, Krvavec, Celje, Beograd, Zagreb, Rovinj, Opatija in Trst, večinoma v obliki kratkih šolskih izletov.

1. Tako sem pred 50 leti verjela in še vedno verjamem, da je bilo takrat in je še danes pošiljanje človeka na Luno in njegova varna vrnitev na Zemljo neverjeten in skoraj nedosegljiv podvig. Prvo različico tega prispevka sem napisala konec januarja. Zanj me je prosila ga. Irena Marušič, svetnica Tehniškega muzeja Slovenije, kjer so pripravljali manjšo razstavo ob petdeseti obletnici človekovega prihoda na Luno. Medtem je iz Izraela prišla vest, da so poslali satelit na Luno. *Slika 1.* Ko sem novico prvič slišala, sem si rekla: »Če komu, lahko to uspe le Izraelu!« A satelit ni pristal na kamniti površini Lune, tako da tokrat niti Izraelcem pristanek na Luni ni uspel! Zdaj so tudi Kitajci poslali satelit in rover, ki pošilja slike s površja nevidne oz. oddaljene strani Lune. *Slika 2.*

Samo pomislite, koliko stvari gre lahko narobe! V eksperimentalni znanosti in različnih panogah inženirstva imamo izgovor, zakaj stvari (skoraj) nikoli ne uspejo (znameniti Murphyjev zakon): »Vse, kar lahko gre narobe, bo šlo narobe!« Študentom pravim, da je Murphy častni prebivalec mojega laboratorija, zato naj ne gojijo velikih upov za hitre uspehe. Murphyja sem spoznala šele na fizikalnem oddelku v ZDA, a sem do takrat v kratkem življenju naredila dovolj napak, da sem se zavedala, da nobena stvar ne deluje pri prvem poskusu.

Seveda so tirnice zapletene, Zemlja se giblje po svojem tiru in Luna kroži okrog nje, vendar težnost bolj ali manj razumemo, kar sta Kepler in Newton postavila svoje zakone. Kaj pa to, da mora »človeški tovor« ostati živ in priseben, da lahko govori z Zemljo in morebiti reši nekaj sicer čisto majhnih, a življenjsko pomembnih problemov, ki se lahko – in so se – pojavili med potovanjem? Slika astronauta, ko je opazoval ameriško zastavo na skalni in prašni površini Lune, je večkrat obšla svet, znova in znova je bila natisnjena in ponatisnjena. *Slika 3.* Slika Zemlje, ki so jo s satelita nad površino Lune posneli nekaj mesecev pred tem, sem uporabila kot podobo optimizma za prihodnost, pogosto za čestitke, za izražanje upanja ali za najboljše želje. *Slika 4.*

Pristanek na Luni in vračanje na Zemljo vključuje šest pomembnih faz potovanja. Vsaka od njih je polna nevarnosti, hujših od potovanj Odiseja. Prvič, raketa z živim tovorom mora zapustiti zemeljsko površino (*Slika 5*). Drugič, raketa se mora usmeriti proti Luni in se utiriti v njeno orbito. Tretjič, astronauta morata zapustiti vesoljsko plovilo (komandno kapsulo), ki še naprej kroži okoli Lune pod poveljstvom tretjega člana (*Slika 6*), in v lunarnem modulu (*Slika 7*) varno pristati na skalni površini Lune, ki je obrnjena proti Zemlji. Četrto, pristajalca morata uporabiti del lunarnega modula kot majhno raketo, da vzletita s površine Lune ob tako preračunanem času, da se srečata s komandno kapsulo, ki kroži okoli Lune (*Slika 8*). Petič, vesoljsko vozilo s tremi ljudmi se mora vrniti v orbito Zemlje. In šestič, kapsula s tremi živimi astronauti se mora izstreliti iz vesoljskega vozila pravočasno, da pristane na približno določenem mestu v ogromnem prostranstvu Tihega oceana (*Slika 9*), kjer jih čakajo hitri transportni čolni za morebitni prevoz v bolnišnico in s karanteno opremljena ladja. (*Slika 10*)

2. Tak polet je zahteval ogromno inženirskega znanja celo za 3,6 milijarde ljudi leta 1969, pa tudi za 7,7 milijarde ljudi v današnjem času! Astronavt Armstrong je rekel: »Majhen korak za človeka,

a velik skok za človeštvo.« Hotel je povedati, da je bil on sicer izbran za prvi korak na Luni, toda za to, da je človek lahko naredil ta korak, je moralo veliko ljudi preučevati in izvajati inženirske projekte, izdelovati prototipe in instrumente že dolga leta pred tem. Tu gre morda omeniti, da sem se zavedala razlike med besedama »mankind« in »humankind« veliko pred številnimi polemikami na to temo. Krivo je dejstvo, da je angleščina zame tuj jezik in da vsako besedo, preden jo začnem uporabljati instinktivno, najprej analiziram.

V rosnih 19 letih življenja sem se naučila in zavedla zahtevnosti inženirstva, njegovih kompleksnosti in težav, ki se pojavijo in preprečijo, da bi celo najpreprostejši sistem deloval, kakor predvideva in upa človek. Poleti leta 1964 (takrat mi je bilo 13 let) moj oče ni hotel prenesti elektronskega mikroskopa iz stare elektrotehnične stavbe na Aškerčevi cesti v novo stavbo na Tržaški cesti. Elektronski mikroskop ni delal najbolje in oče je hotel napake odpraviti v njegovem izvornem okolju. Rekel mi je: »Če tega instrumenta ne morem popraviti tam, kjer je bil razvit in kjer je nekoč že dobro delal, ne bo nikoli delal na novi lokaciji!« Njegov instrument je bil zame zelo zapleten. Imel je natančno obdelane elektronske leče, drobne odprtine ter posebej pripravljene vzorce in je zahteval delovanje v vakuumu. Kakšno leto prej sem z očetom obiskala tudi elektrooptično podjetje Iskra v Kranju, kjer je bilo opravljenih veliko elektrooptičnih in opto-elektronskih raziskav in razvoja.

V televizijskih oddajah leta 1969 sem videla slike, posnete v podjetju Rocketdyne v Los Angelesu, hčerinskem podjetju Rockwell International, ki je danes del Boeing Corp. Bila sem popolnoma prevzeta. V veliki zgradbi skladiščnega tipa z višino treh nadstropij so bile postavljene vrste za vrstami inženirskih kabin brez stropa, obkrožene z zaprtimi pisarnami za šefe in sejnimi sobami. Kamere so z višine snemale ljudi, ki so delali spodaj. Dobil si občutek, da vidiš vojsko mravelj ali celo termitov, ki gradijo svoje gnezdo. Že takrat sem znala ceniti težko nalogo

usklajevanja dela tako velikega števila inženirjev, ki bi omogočilo dejanski pristanek na Luni. Vsak inženir dela na svoji nalogi, sistemski inženir združuje delo desetih inženirjev, vodja projektov pa poskrbi, da projekt dejansko deluje kot celota: da je delo vseh članov usmerjeno k temu, da se uspešno naredi končni instrument in da noben od inženirjev ne dela proti ciljem drugega.

Mogoče je bila Iskra zasnovana bolj ergonomsko, na način, ki je prijazen do delavcev in jim omogočala prijetne delovne in družbene razmere. Velika vesoljska podjetja na območju Los Angelesa so bila pa zgrajena minimalistično, tako kot so Rimljani gradili mesta. In tedanjemu mladostniku (meni) se je Rocketdyne, preurejeno skladišče, zdel kot futuristični inženirski konglomerat, velika inženirska tovarna. Moj oče, ki je sestavil prvi slovenski elektronski mikroskop (instrument, ki je omogočil videti posamezne atome, viruse ali bakterije, ki jih z optičnim mikroskopom ni bilo mogoče), je imel enega asistenta (doktorskega študenta Alojza Kralja, sedaj rednega profesorja UL in člana Slovenske akademije znanosti in umetnosti), enega tehnika za fotografije, enega tehnika za precizno mehaniko in enega sužnja (mene).

3. Tretji presenetljivi vidik ameriškega televizijskega programa o pristanku na Luni pa je bil zame ta, da je bil program tako obsežen, podroben in prosto dostopen vsemu svetu in da je vključeval toliko dodatnih informacij. Pri nas so v oddajah sodelovali celo raziskovalci z Oddelka za fiziko Univerze v Ljubljani ali pa mogoče celo z Inštituta Jožef Stefan. Komentirali so različne vidike nebesne mehanike in nizko Lunino gravitacijo, da ne omenjamo odsotnosti Lunine atmosfere. Presenečena sem bila, kako znanost in vesoljske raziskave sodijo tudi v Ljubljano in pripadajo tudi nam.

4. V obdobju približno desetih let pred 1969 so ljudje dosegli več velikih uspehov na področju raziskovanja in osvajanja vesolja. Psička Lajka je bila prvo živo bitje, ki je obkrožilo Zemljo. Potem je Jurij Gagarin, prvi človek in prvi moški, nekajkrat obkrožil Zemljo. Za njim je hrabro zakrožila okoli Zemlje Valentina Terškova, drugi človek in prva ženska. O teh dogodkih smo lahko brali v časopisih, članke so spremljale njihove portretne fotografije, na katerih so vsi nasmejani pozirali ob vesoljskem plovilu. Vse to so, orkestrirano več tednov vnaprej, pripravile službe za odnose z javnostmi. Na ljubljanskem sejmišču za Bežigradom sem dobila celo fotografijo Gagarina s podpisom, stoječega zraven okrogle vesoljske kapsule, ki ni bila veliko večja od njega. Ampak nobenih drugih informacij. Nikoli prej nismo mogli spremljati tistih dejavnosti misije, ki so vključevale razprave med inženirji, ki so se ukvarjali z reševanjem problemov na projektih, ali poslušati znanstvenikov, da razložijo nekatere podrobnosti gravitacije in sil, ki vplivajo na pristanek na Luni ali celo razpravljajo o možnostih gravitacijske anomalije. Kljub temu, da je bil to ogromen uspeh nekoga drugega, ZDA in Nasa (Nacionalna zrakoplovna in vesoljska uprava), so Nasini delavci vedeli, kako ta uspeh deliti z nami. O vesoljskih poletih smo se pogovarjali v naših (slovenskih) dnevnikih, poslušali smo intervjuje z našimi (slovenskimi) znanstveniki. Amerika in Nasa sta znali deliti uspehe osvajanja vesolja z vsemi, tako da smo vsi zemljani občutili, da smo del raziskovanja vesolja. Edini razlog, da vsak ni bil osebno vključen v to delo, je bil, da nismo imeli potrebnega znanja, da nismo živeli na območju Los Angelesa, da nismo bili testni piloti letalskih sil ... Ampak mi, vsak izmed nas, bi to lahko bil, če bi nas poklicala dolžnost ali če bi imeli priložnost. Nasa, lepo si nas vključila v odkrivanje vesolja!

* * *

V desetletju okoli leta 1975 so v angleško govorečih deželah za človeštvo uporabljali besedo *mankind* (man = moški), danes se uporablja beseda *humankind* (human = človek). Veliko izkušenih, starih

inženirjev se je zelo razburilo, ko smo začeli uporabljati drugo besedo. Toda na televiziji leta 1969 nisem videla nobene ženske, ki bi izdelovala instrumente ali gradila satelite, načrtovala misije ali komentirala znanstvena vprašanja. Mogoče je bilo to posledica mnenja, da naj se ženske – tako kot otroci – ne slišijo, ampak samo vidijo. Ne spominjam se, da bi na Univerzi v Ljubljani v tem času delale ženske, ni jih bilo ne na oddelku za fiziko (moj študij) ne na elektrotehniko (področje mojega očeta). Pred nekaj leti pa je Delo poročalo, da je imela Nasa že leta 1953 oddelek črncev in črnk, ki ga je vodila temnopolta ženska. (Vsaj jaz ne v Mehiki ne v Združenih državah ne uporabljam besed, povezanih z barvo kože, ker je to neprimeren način za opisovanje človeka. V ZDA sem bila celo šef, zato je moje vedenje moralo služiti kot zgled.) Čeprav je slišati zelo napredno, je to v ZDA le nadaljevanje tradicije. Že med 2. svetovno vojno so ameriški marinci na pacifiškem bojišču uporabljali šifro Navajo (kar v jeziku Navajo pomeni človek), katere osnova je bil jezik istoimenskega severnoameriškega indijanskega plemena. (Politično korektno se danes imenujejo »Native Americans« ali ameriški domorodci, ne čisto reprezentativen prevod.) Informacije so prenašali po telefonu in radiu. Navajščina ni v sorodu z nobenim evropskim ali azijskim jezikom, zato šifre niso nikoli zlomili. Govorci šifre so bili zaslužni za uspehe, kot je bila zmaga zavezniških sil v Iwo Jimi. Ameriška vlada je šele leta 1968 objavila podatke o šifri in izrekla priznanje »tihemu delu« govorcev šifre.

Televizijskim producentom je med ljudmi uspelo ustvariti občutek vključenosti v dogajanje in mene je razveselilo, da (smo) je človeštvo doseglo ta veliki podvig v tehnologiji, inženiringu in sodelovanju. Prevzel in napolnil me je optimizem. V tistem času raziskovanje vesolja ni bilo del mojega razmišljanja ali sanj, še manj sem gojila načrte, da bi šla na študij v ZDA. Imela sem tri knjige- učbenike Nobelovega nagrajenca Feynmana za prvi letnik fizike. Nisem znala dovolj angleščine, da bi razumela naloge na koncu vsakega poglavja, čeprav sem znala dovolj angleščine za branje

literarnih del. Kako bi lahko bila eden izmed študentov v Feynmanovem razredu? Ko je veliko let kasneje Feynman predaval v Beckmanovi dvorani na Caltechu, sva končno oba govorila isti jezik.

Ko je šel oče prvič za eno leto v ZDA, sem prosila, da bi šla z njim, da bi se naučila malo angleščine. Dobila sem najjasnejši »Ne! Ja, kaj pa si domišljaš? O čem pa sanjariš?« Enoletni odhod v tujino velja danes za dobro izkušnjo, ki študenta začasno izpostavi novi kulturi. Nato se vrne domov in je modrejši za to izkušnjo. V znanosti to prakticiramo v največji možni meri. Želimo, da se naši študenti in novopečeni doktorji izpopolnjujejo v tujini in prinesejo domov novo znanje in izkušnje, od naših diplomantov z doktoratom pa pričakujemo, da gredo drugam po podoktorske izkušnje. Na žalost to seveda ni mogoče za vse!

* * *

V gimnaziji sem uspešno končala sociologijo z nekaj ekonomije in postala prepričana, da si lahko samo bogate države privoščijo tako luksuzne dejavnosti, kot je raziskovanje vesolja. V skladu s to teorijo nekateri ljudje delajo več v proizvodnji presežka osnovnih dobrin, da se lahko drugi ljudje posvetijo dejavnostim, ki ne proizvajajo produktov za zadovoljevanje osnovnih potreb. Take dejavnosti so na primer umetnost, filozofija, tudi znanost in zlasti astronomija ter eksotični inženiring, kot je raziskovanje vesolja. Pravzaprav je za družbo dražje, da preživlja znanstvenika kot bogato gospo, ki niti ne gospodinji niti ne dela zunaj doma. Dama z veliko prostega časa potrebuje hrano in stanovanje, veliko oblačil in čevljev, ki jih menja vsak dan, in zabavo vsak večer. Upajmo, da ji vse to nudi njen zgodaj osiveli mož! (Čeprav takih bogatih gospa zdaj ni več v Sloveniji, kjer velika večina žensk dela zunaj doma.) Znanstvenik potrebuje zgoraj naštetu v manjši meri, nosi stare čevlje, zmeraj ista oblačila, in jé, kadar se na to spomni. V življenjepisu Feynmana je to zabavno opisano! A po drugi strani ima znanstvenik zahteve, ki so večje od zahtev trofejne žene: potrebuje

dobro opremljen laboratorij, ogromno pisarno s papirji, zloženimi na delovni mizi tri metre visoko, in izjemno močan računalnik, boljše dva, in seveda zaslon, dva, mogoče tri kakor moj sosed Manuel. Hoče tudi dostop do vseh knjižnic na svetu in to ne da bi se premaknil s svojega stola. Da niti ne omenim znanstvenih potovanj. Naj povem primer: soliden diamant za slovensko Urško stane, recimo, 20.000 evrov; moja kamera, uvožena iz Francije, ki vidi v nevidni svetlobi, pa šestkrat več. Za teleskop za študij površine planeta v našem sončnem sistemu pa lahko dodamo še tri ničle!

Leta 1969 nisem bila tako ambiciozna, da bi hotela delati na področju raziskovanja vesolja. Želela sem si zaslužiti diplomo na fiziki, ki je takrat veljala za najtežjo na področju znanosti. Morda zato, ker je družba verjela, da v Sloveniji res ne potrebujemo fizikov. So bili morda zato izpiti oblikovani tako, da bi večina študentov izbrala drug študij? Mnogi dobronamerni starejši in odrasli so mi govorili, da Slovenija ne potrebuje fizikov in da na tem področju ne bom dobila zaposlitve.

Od takrat sem precej od blizu videla, kako deluje Nasa – tako z vidika izvajanja tehnološkega razvoja kot tudi z vidika osebnega opazovanja –, kako Nasa in njeni znanstveniki delijo tehnološke dosežke z javnostjo. Več kot pet let sem delala v najboljšem inženirskem centru Nase (to je objektivno sprejeto dejstvo, ker JPL deluje kot laboratorij Caltecha), ki se ukvarja z robotskim raziskovanjem sončnega sistema (ki seveda vključuje našo vesoljsko ladjo Zemljo). Delala sem v Laboratoriju za reaktivni pogon (JPL – Jet Propulsion Laboratory) Kalifornijskega tehnološkega inštituta (California Institute of Technology, Caltech). V lastnem tehnološkem razvojnem projektu za podporo misiji *Cassini* (2005–2017) sem bila odgovorna za razvoj avtonomnega optičnega navigacijskega sistema, ki temelji na razpoznavanju zvezdnega polja. To, kar ga je naredilo avtonomnega, je bilo razpoznavanje večine zvezd v vidnem polju satelitske kamere z uporabo na novo razvitega algoritma za prepoznavanje vzorcev, zgrajenih iz točk, brez udeležbe ali sodelovanja človeka. Fotoaparati na osnovi CCD-ja, vgrajeni na medplanetarno plovilo, zabeleži polje zvezd in se

lahko takoj znova uporabi za fotografijo naslednjega zvezdnega polja. Navigacijski sistem je bil predstavljen in eksperimentalno preverjen le nekaj mesecev pred rokom za nove tehnološke dosežke, 30. septembra 1992 (konec proračunskega leta v ZDA). V slepih poskusih smo na Table Mountain Observatory vzhodno od Los Angelesa ob uporabi pravih zvezd, ob dveh različnih priložnostih dokazali, da je bila inteligentna, avtonomna kamera popolnoma natančna in odporna na eksperimentalne napake. (Ignorirala je napake, kakor to delamo ljudje, na primer ob tiskovnih napakah.) Večina obstoječih tradicionalnih navigacijskih sistemov, vključno s tem, ki ga uporabljamo ljudje (in sestoji iz dveh oči in možganov), temelji na prejšnjih informacijah in rednih posodobitvah. Naš nejeverni Tomaž je na skrivaj usmeril kamero na neznano polje zvezd v drugi sobi in vprašal računalnik: »Kam gleda kamera?« Naša inteligentna kamera z vgrajenim zvezdnim katalogom in računalnikom z redundantnimi algoritmi je odgovorila hitro in pravilno in to še preden smo lahko odmaknili prst z gumba, ki ukaže »Go«.

Nasa je leta 2007 predlagala predstavitev tehnologije v televizijski oddaji z naslovom »Through the Looking Glass« (Gledano skozi lečo), ki jo je vodil svetovno znani igralec Morgan Freeman. Oddaja na National Geographic Channel je optični navigacijski sistem predstavila kot enega od Nasinih velikih tehničnih dosežkov in družbenih pridobitev. Pred samo nekaj meseci je NASA-JPL razposlala »informativno kapsulo«, ki so jo povzeli časopisi in spletne mreže in ki poudarja, kako izredno pomemben je bil razvoj optične navigacije, razvit za misijo *Cassini*, za avtonomno navigacijo vozil na zemlji, v atmosferi in zunaj atmosfere.

Navigacija na podlagi zvezdnega polja je bila v uporabi že v srednjem veku tudi za odkrivanje Amerik. Moramo seveda dodati, da prebivalci teh kontinentov nikoli niso menili, da so bili izgubljeni, in še veliko manj so želeli, da bi jih Španci ali Portugalci odkrili.

Še prej, če lahko verjamemo zelo priljubljeni in gledani televizijski seriji *Vikingi* na History Channel, so Vikingi uporabljali sledilce Sonca in polarizacijski filter, da so lahko videli Sonce kot eno izmed navigacijskih zvezd tudi v oblačnih dneh. Do približno leta 1995 je bilo Sonce samo ena čisto navadna mlada zvezda v glavnem nizu (main sequence) zvezd, se pravi med zvezdami nič posebnega. (Če seveda pozabimo, da je bilo Sonce bog Aztekov in je darovalec življenja na Zemlji.) Sonce nam je skupaj s še eno – katerokoli dovolj dobro vidno – zvezdo dalo dovolj informacij, da so se ladje in letala lahko premikali po površini Zemlje na osnovi znanja o svoji legi, četudi daleč od ali nad trdno zemljo. Avtonomna, inteligentna kamera, razvita za raziskovanje daljnih planetov, ki je uvedla optično navigacijo, je bila odtlej vpeljana na ladje, letala, helikopterje, drone in satelite. Vsak med nami dnevno uporablja komunikacijske satelite, da ohranjamo zvezo z bližnjimi in za službene povezave ter da prejemamo in pošiljamo informacije o našem okolju in o nas. Računamo na zanesljivost globalnega sistema pozicioniranja (GPS); to je sistem približno 25 funkcionalnih satelitov, ki zasledujejo vse, kar se dogaja na, pod in nad površjem Zemlje, časovno so sinhronizirani, njihove koordinate pa so znane z visoko natančnostjo. Zato nam nudijo informacije o legi z enako oz. večjo natančnostjo kakor običajne triangulacijske metode. Vsak uporabnik mobilnega telefona se zanaša, da mu telefon pove, kje se v kateremkoli trenutku nahaja. *Oče Google* je res vseveden, saj te funkcije na telefonu niti ne moreš izključiti. Izgubljeni popotnik lahko pokliče Uber na katerikoli kraj, z natančnostjo nekaj metrov, tako da izbere lokacijo na zemljevidu, ki čudežno in natančno ve, kje je izgubljeni zemljanček. To je kar neverjetno! Hvala, Nasa, da si naredila svet manjši in preprostejši.

Nasa je ponosna, da je njeno financiranje, namenjeno raziskovanju vesolja in daljnih planetov našega Osončja (npr. misija *Cassini*), povzročilo revolucionarne in dolgoročne pridobitve in koristi za vsakega prebivalca Zemlje. Tudi deli Zemlje, ki nimajo tekoče vode in kjer vsako bivališče nima

električnega toka, so prek komunikacijskih satelitov lahko povezani s spletom. Tako imajo ljudje dostop do informacij in se lahko pogovarjajo o potrebah prebivalstva, kot recimo ob potresih ali poplavih. Avtonomna optična navigacija, ki sem jo razvila kot nujno tehnologijo za raziskovanje daljnih planetov, je imela za Nasa dolgoročne pozitivne posledice. S tem uspešnim projektom lahko Nasa razloži ameriškemu narodu, da je raziskovanje vesolja v korist vsem zemljanom, ker lahko novorazvito tehnologijo uporabljajo vsi ljudje, s čimer se izboljšuje kvaliteta njihovega življenja. Kar pomeni, da imajo več prostega časa, manj trdega, fizičnega dela in da se lahko ukvarjajo s stvarmi, ki so zanje pomembne – od družinskih obiskov muzejev do gledanja nogometa in vzponov s prijatelji na Triglav.

* * *

Ko sem gledala dokumentarne oddaje in intervjuje o prihodu človeka na Luno, sem okamenela pred podobo veličine projekta. Prav tako mi je vzelo dih neverjetno število ljudi, ki so na njem delali. Za primerjavo lahko vzamemo slovenski raziskovalni Inštitut Jožef Stefan, kjer je, po vladnih podatkih, zaposlenih skoraj 1.000 uslužbencev. Ko sem pred 25 leti sodelovala z Laboratorijem za reaktivni pogon (JPL, Caltech, Kalifornija), je tam delalo več kot 7.000 ljudi (več kot 5.000 znanstvenikov in inženirjev). Nasa ima več kot sedem takih centrov, za ustvarjanje novega znanja uporablja delo akademskih znanstvenikov, za inženirske projekte pa zasebna podjetja. Ne da bi se leta 1969 dobro zavedala ogromnega števila delavcev, me je presenečalo in mi je bilo hkrati težko razumeti, da take množice ljudi lahko delajo na enem projektu, ki na koncu ustvari en izdelek – medplanetarno vozilo (*Slika 9*). Spoznala in razumela sem – in si to tudi zabeležila nekje v možgančkih –, da človekov pristanek na Luni ni bil izdelek enega samega genija, marveč je bil rezultat uspešnega sodelovanja številnih ljudi, ljudi, kot ste vi in jaz. Pristanek človeka/človeštva na Luni ni bilo naključno odkritje skupine norih, osamljenih znanstvenikov, kakršen je bil na primer Nikola

Tesla. Njega sicer zaradi izrednih sposobnosti uporabljanja znanja zelo občudujem in ko sem v sedmem razredu brala njegov življenjepis, mi je povzročal resne komplekse manjvrednosti.

Nasa in ameriška industrija sta razvili tehnike upravljanja, ki se osredotočajo na obsežno sodelovanje, ki skupini povprečnih inženirjev omogoča, da neizogibno dosežejo uspeh, ki presega zmožnost enega človeka, hkrati pa izkoristi posebne sposobnosti vsakega posameznika. Tako imenovano matrično upravljanje (matrix management), ki so ga uvedli v tistem času, zahteva, da za vsako nalogo uporabiš specialista za tisto panogo, da računaš, da grede stvari lahko narobe, in da sprejmeš in narediš temu primerne načrte, da morajo ljudje določeno število ur govoriti drug z drugim, tako da se elementi sistema združijo v funkcionalno celoto. V tem času je postala moderna beseda sinergija.

Videti, kako inženirji pridno delajo vsak zase v svoji pisarni ali poročajo na sejah, eden za drugim, pod vodstvom kakšnega vzpodbudnega vodje, je bilo zame osebno posebno lepo, ker vsakemu človeku omogoča, da prispeva po svojih zmožnostih. To se mi je vedno zdel humanističen način uporabe ljudi za izgradnjo boljše prihodnosti. Skupine ljudi, obdarjene tako z izrednimi sposobnostmi kakor tudi z napakami, pa so nič več in nič manj kot človeštvo. Dobra organizacija dela in ljudi omogoča človeškemu bitju, pomanjkljivemu zaradi njegove človeškosti, da prispeva k veličastnosti človeštva in opravi izredne naloge. V skupnem projektu je kakovost izdelka odvisna od najšibkejšega člana ekipe oziroma sposobnosti organizatorja dela, da primerno in optimalno uporabi vsakega člana. V Evropi rojeni Američan Peter Drucker je v organizacijo dela vpeljal tri nove zamisli: (i) ljudje so najbolj dragoceno proizvodilno sredstvo organizacije; (ii) naloga vodje je, da ljudem pripravi najboljše pogoje za opravljanje dela in (iii) da jim dodeli naloge, ki najbolj ustrezajo njihovim sposobnostim v širšem smislu. Pristanek na Luni je bil rezultat trdega dela številnih ljudi.

Za Armstronga je bil le majhen korak (najbrž je imel probleme z ravnotežjem!), za Marijo, ki je

(bila) le majhen delček človeštva, pa je to bil ogromen skok. Leto 1969 je bilo obdobje raziskovanja vesolja za vsakogar, tudi za nerodnega, dolgočasnega, počasnega posameznika. Pri nas so novinarji intervjuvali slovenske znanstvenike in njihova naloga in prispevek sta bila pojasniti, kako je bila pri vsakem koraku ukrojena gravitacija, kako vesoljsko plovilo zavije in kako so sile uravnotežene (hvala Bogu!). Vendar se nikoli niso spuščali v podrobnosti, bili so moderatorji in komentatorji. In bili so sprejeti kot veliki strokovnjaki samo na podlagi tega, da so razpravljali o znanosti na nacionalni televiziji. Znanost je pridobila veliko družbeno veljavo, ker je pokazala, da ljudje naredijo velike stvari, več kot bi lahko dosegel vsak posameznik. Znanost je bila za vse, ne samo za super bogate narode ali super inteligentne in iznajdljive ljudi. Znanost je bila tudi za Marijo, čeprav v tistem času ni imela želje, da bi naredila kaj več, kot dobila diplomo iz fizike. Skratka, zame ni veljalo, »da b' uka žeja me iz tvoj'ga sveta, speljala bi ne bilà, golj'fiva kača!« Že prvo leto fizike na Ljubljanski univerzi se mi je zdelo zelo zahtevno!

Pristanek na Luni 20. julija 1969 je bil »dober« za človeštvo v smislu, da je uspešno končano delo »dobro«; v smislu, kot je Bog v Genezi opazil, da je njegovo stvarjenje svetlobe »dobro«. Še vedno mislimo, da je s stvarjenjem svetlobe Bog naredil dobro. Naj popravim – oboje je še vedno dobro, tako stvarjenje svetlobe kakor tudi človekov pristanek na površju Lune.

* * *

Ko sem končala prvi letnik fizike na Univerzi v Ljubljani, me je življenje peljalo na študij fizike v ZDA. Tam ni bilo raziskovanja vesolja, nobenih velikih idej za razpravo in možnosti niso bile več neomejene, kakor so se nam zdele v času programa Apollo. V zgodnjih sedemdesetih letih so ZDA zašle v manjšo recesijo, bile so težave z bencinom in z univerz je prihajalo preveč fizikov, ki so imeli težave pri iskanju zaposlitve. V ZDA sem trčila ob realnost, ki so mi jo Slovenci napovedovali za Slovenijo.

Na srečo in zgolj po naključju sem se tej realnosti izognila, ker sem se osredotočila na optični del fizike. V obdobju 50 let pred letom 1970 bi lahko fiziko opisali kot obdobje optike, čeprav je bila optika glavni del fizike že od stvarjenja naprej. (Ali, če želite, od velikega poka.) Naduti fiziki tega nismo vedeli, ker se nam tega nihče ni upal povedati. Šestdeset let prej, ali pred približno 115 leti, je bila kvantna mehanika uvedena kot optični fenomen, pri čemer je Nemeč Planck uvedel kvante svetlobe kot pogoj sevanja črnega telesa. V Nemčiji rojeni Albert Einstein je iste kvante uporabil za razlago fotoelektričnega pojava. Znova smo bili sredi geneze, saj smo optični tipi vztrajali, da je svetloba ustvarjena, uporabljena, preoblikovana, uničena, ustvarjena na novo, manipulirana in ljubljena. Kakih deset let kasneje, okrog leta 1980, je Ameriško optično društvo uvedlo reklo »Optika je lahko delo,« v katerem se je poigralo z besedo »light«: *light* pomeni svetloba, a tudi lahek ali optično sevanje. »*Optics is light work*« lahko torej prevedemo kot »Optika je delo o svetlobi«, pa tudi »Optika je lahko delo«. Optiki še vedno mislimo tako.

Svojo prvo zaposlitev kot novopečeni doktor optičnih znanosti sem nastopila avgusta 1978 v podjetju Rocketdyne, podružnici podjetja Rockwell Intl., kjer so bili zgrajeni glavni motorji vesoljskega plovila Space Shuttle, še prej pa motorji raznih raket. Verjetno sem delala v enakem skladišču s tri nadstropja visokim stropom, kakršno sem videla devet let prej v dokumentarnih oddajah o pristanku na Luni. Nekaj let kasneje so Space Shuttle uspešno uporabili s pomočjo glavnih motorjev za večkratno uporabo. Ne morem z gotovostjo reči, ali sem po naključju sprejela delo v podjetju, ki se je ukvarjalo z vesoljskimi problemi. Prav tako ne morem zatrdno reči, zakaj me je kasneje pritegnil vesoljski raziskovalni laboratorij JPL, kjer sem delala na razvoju tehnologij za prihodnje misije in bila blizu strokovnjakom, ki so te misije osmišljali.

Z gotovostjo in prepričanjem pa lahko rečem, da mi je uspešen pristanek človeka/človeštva na Luni dal tisti posebni občutek samozavesti, da lahko naredim nekaj, česar ni naredil še nihče pred

mano, čeprav sem samo človek, ki je naredil – in dela – svoj delež napak. Včasih se imam za inženirja in včasih za znanstvenika, odvisno od tega, ali mora moj končni izdelek delovati ali pa ustvarjam novo znanje. Vendar se nisem nikoli štela za žensko (no ja, trikrat, Maureen Ana, Susan Alenka in Michelle Katka!). Torej stavek »... čeprav sem samo ženska, ki naredi svoj delež napak«, pri meni ne bi bil na mestu.

* * *

To me je privedlo h koncu obujanja spominov in tu lahko povzamem nekaj misli za prihodnost. Vprašanje, ki mi ga velikokrat zastavljajo kolegi, ker sem bila v toliko stvareh prva ženska (doktor znanosti Optičnega znanstvenega centra Univerze v Arizoni, vodja tehničnega oddelka v ameriški korporaciji, akademski urednik, organizator znanstvenih srečanj, nagrajenec mednarodne družbe za optični inženiring itn.), je, zakaj se moje hčere niso posvetile znanosti ali pa vsaj tehnologiji, inženiringu in matematiki, panogam znanim kot STEM. Pred mnogimi leti je bila najstarejša hči izredno dobra v matematiki, a se je deset let kasneje posvetila podiplomskemu študiju in naredila doktorat iz veterinarske medicine na zelo dobri in ekskluzivni univerzi v Teksasu.

Zakaj moje hčere niso v znanosti? Vsaj dve sta začeli z znanostjo in si prislužili diplomu iz molekularne znanosti (!!!) in tehnologije (!!!), dve od štirih panog STEM. In potem sta se srečali z realnostjo življenja: družba ima samo končno količino bogastva, kot je to pridigal ekonomist Lester Thurow pred petdesetimi leti. Moški se ob vsaki izgubi položaja, ki mu je nekoč pripadal po spolu in ga zdaj pridobi ženska, počuti okraden. Kadar izgubiš pridobljeni privilegij, to čutiš kot osebni napad!

Kakor človeštvo reši vsak problem, ki si ga zastavi, bomo premagali tudi predsodek, da je nova porazdelitev odličnih delovnih mest krivična, kadar se podelijo (sposobnim) ženskam. Verjetno pa se to ne bo zgodilo čez noč, ker je koncept pravice intimno povezan s kulturnimi vrednotami. Moj najljubši mislec dvajsetega stoletja, ekonomist in politik John Kenneth Galbraith, je omenil, da smo

v zahodni kulturi dali ženskam vrline namesto priložnosti. Prišel je čas, da mladim dekletom ponudimo možnosti, da postanejo uspešne in včasih tudi boljše od fantov in da jih ne držimo nazaj z izmišljeno krepostjo!

Idealno bi bilo, če bi mladi fantje in mlada dekleta imeli prihodnost z lahko dostopnimi neskončnimi možnostmi, kakršne smo mi – vede ali nevede – uživali v obdobju Apolla. Naši mladi si zaslužijo iste sanje in isto neomejeno prihodnost, kot smo jo imeli mi! Zato pa potrebujemo znanost, da odpre nove poti v prihodnost, in znanstvenike, da najdejo nove metode krotjenja naravnih sil. In družba ne bo več imela le končnega bogastva, ampak neskončno, kakršno je obzorje ALMA teleskopov na planoti Atakama v Čilu (*Slika 11*), kjer znanstveniki vsak dan govorijo z neskončnostjo, da ne rečem z Bogom.