

Bidragsformat (Diskusjon)

Miljøparadokset i kunstig intelligens: En balansegang mellom teknologisk fremskritt og bærekraft

Omid Mirmotahari¹, Andrea Gasparini^{2,3}, Maja van Der Velden^{1,3},
Anja Røyne^{4,5} og Tatsiana Komissarova⁶

¹ Institutt for Informatikk, Universitetet i Oslo

² Universitetsbiblioteket, Universitetet i Oslo

³ Sustainability Lab, Universitetet i Oslo

⁴ Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

⁵ KURT, Universitetet i Oslo

⁶ LINK, Universitetet i Oslo

Sammendrag: I takt med at kunstig intelligens (KI) og andre avanserte teknologier revolusjonerer vårt samfunn, vokser bekymringen for deres miljøpåvirkning. Dette posisjonsdokumentet undersøker det paradoksale forholdet mellom teknologisk utvikling og miljømessig bærekraft, med særlig fokus på ressursbruk og energiforbruk. Vi drøfter hvordan utviklingen av stadig mer kraftfulle systemer står i konflikt med bærekraftsmål, og utforsker potensielle løsninger for å balansere teknologisk fremskritt med miljøansvar. Særlig vektlegger vi betydningen av å integrere bærekraftsperspektiver og digital kompetanse i STEM-utdanning for å forberede fremtidens forskere, designere, ingeniører og beslutningstakere på tvers av naturvitenskap, teknologi, ingeniørfag og matematikk..

Nøkkelord:

Bærekraft, Informatikk, STEAM

1 Introduksjon og historisk perspektiv

Utviklingen av digital teknologi har historisk sett vært drevet av en kontinuerlig streben etter miniatyrisering og økt ytelse, eksemplifisert gjennom Moores lov i halvlederindustrien. Denne utviklingen har ført til stadig mindre og mer effektive transistorer, som har gjort at digitale prosesser i seg selv har blitt mindre energi- og materialkrevende. Samtidig har de stadig lavere kostnadene gjort teknologien tilgjengelig for stadig flere anvendelser, slik at økt effektivitet ikke har resultert i en lavere samlet ressursbruk. Siden klima- og miljøpåvirkningen fra produksjon og bruk av digitale systemer avhenger av den totale bruken, og ikke av effektiviteten i hver enkelt komponent, har denne rebound-effekten langt på vei opphevet de mulige bærekraftsgevinstene en kunne ha fått fra mer effektive og optimaliserte systemer.

I dag ser vi at utviklingen innen kunstig intelligens og store språkmodeller forsterker denne tendensen, der de potensielle gevinstene fra større modeller og mer treningsdata overskygger mulighetene for effektivisering og optimalisering av eksisterende arkitektur. Spørsmålet om tilstrekkelighet, hvor stor regnekraft eller ressursbruk som faktisk er nødvendig i ulike anvendelser, blir ofte ikke adressert.

Nylige utviklinger, som DeepSeek-modellen, viser imidlertid at betydelige fremskritt kan oppnås gjennom optimalisering og effektiv ressursutnyttelse, selv med "eldre" maskinvare. Dette demonstrerer viktigheten av å balansere innovasjon med effektivisering, og optimalisering med tilstrekkelighet. Effektivisering, optimalisering, og tilstrekkelighet er lærdom som må integreres i moderne STEM-utdanning.

2 Teknologitvillingens miljøutfordringer

Den raske utviklingen av KI-teknologier og andre avanserte systemer medfører betydelige miljøkostnader som ofte overses i den teknologiske diskursen. Infrastrukturen som kreves for å drive moderne teknologiske systemer, fra datasentre til forskningslaboratorier, konsumerer enorme mengder energi og ressurser. Dette skaper en fundamental spenning mellom teknologisk fremskritt og miljømessig bærekraft som må adresseres på tvers av alle STEM-disipliner.

Moderne teknologiske systemer krever omfattende infrastruktur, inkludert spesialiserte prosesseringsenheter, avansert laboratorieutstyr og komplekse kjølesystemer. Der tidligere elektroniske komponenter kunne produseres med et begrenset antall mineraler, krever dagens avanserte elektronikk over 50 forskjellige grunnstoffer, inkludert sjeldne jordmetaller og såkalte konfliktmineraler. Utvinningen av disse materialene har ofte katastrofale miljøkonsekvenser og er ikke sjelden forbundet med alvorlige brudd på menneskerettigheter og etiske prinsipper. Denne utviklingen representerer ikke bare en teknisk utfordring, men også et betydelig etisk og moralsk dilemma for STEM-feltene. Infrastrukturen forbruker ikke bare betydelig energi under drift, men den økende kompleksiteten i materialbehovet skaper også en eskalerende miljø- og samfunnsmessig belastning gjennom hele verdikjeden. For eksempel kan trening av en enkelt stor språkmodell eller gjennomføring av omfattende vitenskapelige simuleringer generere betydelige karbonavtrykk. Dette illustrerer tydelig

behovet for en mer bærekraftig tilnærming til teknologisk og vitenskapelig utvikling på tvers av alle STEM-felt.

3 STEM-utdanningens roller i bærekraftig utvikling

For å møte disse utfordringene må høyere utdanning innen STEM-fagene ta en aktiv rolle i å forme fremtidens forskere, ingeniører og beslutningstakere. Dette innebærer en fundamental re-tenkning av hvordan vi underviser naturvitenskap, teknologi, ingeniørfag og matematikk. Der tradisjonell STEM-utdanning ofte har fokusert primært på teknisk ekspertise og vitenskapelig metodikk, må moderne utdanningsprogrammer integrere bærekraftsperspektiver som en kjerneverdi i all forsknings- og utviklingsaktivitet.

En helhetlig tilnærming til STEM-utdanning må omfatte både grunnleggende forståelse av miljøpåvirkning og praktisk kompetanse i bærekraftig utvikling og innovasjon. Studentene må utvikle en dyp forståelse for ressursbruk og miljøkonsekvenser innen sine respektive felt, samtidig som de tilegner seg ferdigheter i effektiv og bærekraftig problemløsning (van der Velden 2021). Dette gjelder enten de arbeider med programvareutvikling, design av teknologi, materialvitenskap, bioteknologi eller andre STEM-disipliner. De åtte bærekraftskompetanser, formulert i UNESCOs Education for the Sustainable Development Goals, er en passende guide til å begynne med (Rieckmann, M. 2017).

En sentral lærdom fra teknologihistorien er betydningen av optimalisering og effektiv ressursutnyttelse. I stedet for konstant å søke nye og mer ressurskrevende løsninger, må vi lære studentene å verdsette og mestre optimalisering av eksisterende systemer og teknologier. Dette innebærer å utvikle en dyp forståelse for hvordan eksisterende ressurser kan utnyttes mer effektivt, samt evnen til å identifisere og eliminere sløsing i teknologiske og vitenskapelige prosesser. DeepSeek-eksempelet fra KI-feltet demonstrerer hvordan kreativ optimalisering kan gi betydelige fremskritt uten tilsvarende økning i ressursbruk.

På den annen siden har innovative tilnærminger til eksisterende teknologier og metoder i STEM-felt, spesielt innen digitalisering og energi, ofte resultert i økt vekst eller i lavere ressursgevinster enn forventet (Lange S. 2022). Denne såkalte rebound-effekten er et resultat av økt ressursforbruk på grunn av billigere produksjon og bruk. Optimalisering og økt effektivitet må kombineres med strategier og metoder for bærekraftig forbruk, som tilstrekkelighet eller innovasjon uten vekst.

Digital kompetanse må redefineres til å omfatte ikke bare teknisk kunnskap, men også en grundig forståelse for teknologiens miljøpåvirkning på tvers av alle STEM-felt. Dette innebærer evnen til kritisk vurdering av metodikk og teknologivalg, samt kompetanse i å måle og evaluere miljøpåvirkning i praktisk forsknings- og utviklingsarbeid. Særlig viktig blir vurderingen av tilstrekkelighet: hvordan den beste teknologien kan tas i bruk for å løse problemer uten at det gir et unødig overforbruk av ressurser og materialer.

4 Bærekraftsparadokset i moderne STEM-praksis

Vi står overfor et fundamentalt paradoks i moderne STEM-praksis, hvor ønsket om vitenskapelig og teknologisk fremskritt ofte kommer i konflikt med bærekraftshensyn. Større eksperimenter, mer omfattende dataanalyse og kraftigere teknologiske systemer kan gi bedre resultater, men dette kommer med en tilsvarende økning i ressursbruk og miljøpåvirkning. Dette paradokset skaper særlige utfordringer i utdanningssammenheng, der balansen mellom vitenskapelig ambisjon og bærekraftshensyn må håndteres på en meningsfull måte.

Utviklingen av nødvendig kompetanse for fremtiden krever at utdanningsinstitusjonene skaper læringsmiljøer som fremmer bærekraftig innovasjon på tvers av alle STEM-disipliner. Dette innebærer utvikling av vurderingsmetoder som effektivt balanserer faglig ekspertise med bærekraftshensyn, samt etablering av sterke partnerskap med industri og forskningsinstitusjoner for å gi studentene praktisk erfaring med reelle problemstillinger.

5 Diskusjonspunkter for videre utforskning

For å drive utviklingen i en bærekraftig retning, må STEM-utdanningen adressere flere sentrale spørsmål:

- Hvordan kan vi effektivt integrere bærekraftsperspektiver i ulike fagdisipliner?
- Hvordan kan vi fremme en kultur for tilstrekkelighet og effektiv ressursutnyttelse?
- Hvordan kan vi gi studentene våre faglige verktøy til å vurdere spørsmål om ressursbruk, miljøpåvirkning og tilstrekkelighet?
- Hvordan kan vi sikre at optimalisering og effektivisering ikke resulterer i økt ressursbruk?

Som en av mulige tilnærminger for å integrere bærekraftsperspektiver i undervisningen ønsker vi å teste STEAM, der A står for Art and Design (Boy, 2013; Piro 2010; Madden et al. 2013). STEAM er en tilnærming som tillater å takle komplekse problemer mer effektivt gjennom kreativitet og designmessige måter å tenke og handle på.

Som nevnt vil dagens komplekse problemer samfunnet har, kun bli løst hvis en inkluderer en helhetlig forståelse av problemområdet, og Art og Design kan bevisstgjøre studentene om alle bias de forskjellige fag i STEM kan ha når en adresserer bærekraft krisen.

6 Konklusjon

Miljøpåvirkningen av moderne STEM-praksis representerer en kritisk utfordring som krever en fundamental endring i hvordan vi utdanner fremtidens forskere og ingeniører. Ved å integrere bærekraftsperspektiver og fremme en kultur for tilstrekkelighet og effektiv ressursutnyttelse, kan vi utvikle fagfolk som er rustet til å møte fremtidens vitenskapelige og teknologiske utfordringer på en bærekraftig måte. Dette krever en koordinert innsats fra utdanningsinstitusjoner, forskere, industri og politiske beslutningstakere på tvers av alle STEM-felt.

Referanser

- Boy, Guy A. 2013. "From STEM to STEAM: Toward a Human-Centred Education, Creativity & Learning Thinking." In *Proceedings of the 31st European Conference on Cognitive Ergonomics, ECCE '13*, New York, NY, USA: ACM, 3:1-3:7. doi:10.1145/2501907.2501934.
- Madden, Margaret E., Marsha Baxter, Heather Beauchamp, Kimberley Bouchard, Derek Habermas, Mark Huff, Brian Ladd, Jill Pearson, and Gordon Plague. 2013. "Rethinking STEM Education: An Interdisciplinary STEAM Curriculum." *Procedia Computer Science* 20: 541–46. doi:10.1016/j.procs.2013.09.316.
- Piro, Joseph. 2010. "Going from STEM to STEAM. The Arts Have a Role in America's Future Too." *Education Week* 29(24): 28–30.
- van der Velden, M., Gjelsten, B. K. ., & Jensen , S. M. . (2021). Sustainability Competence in Computer Science Education. *Nordic Journal of STEM Education*, 5(1). <https://doi.org/10.5324/njsteme.v5i1.3953>
- Rieckmann, M., Mindt, L., & Gardiner, S. (2017). Education for Sustainable Development Goals: Learning objectives (p. 67). UNESCO.
- Lange, S., & Berner, A. (2022). The growth rebound effect: A theoretical–empirical investigation into the relation between rebound effects and economic growth. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133158>