

Teaching Tool

***Metallmani* : et engasjerende lærings-spill om produksjon av metaller**

I.G. Aakre*, E.Y. Tokle, E. Vik, og K. Kleveland

Institutt for materialteknologi, NTNU, Norge

*Kontaktperson. E-post: iselin.g.aakre@ntnu.no

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

English abstract: Board games can be used as an engaging learning activity that can increase students' knowledge, understanding, motivation, and build a positive learning environment. We have developed a new board game, *Metallmani*, where each player manages their own company within the metallurgical industry. While playing, players must buy raw materials and invest in various processing plants, pay to run the processes, sell the products, and deal with CO₂ taxes and other societal issues. The winner is the one who has the most money when the game ends. The game was developed for use by students in the Bachelor program of Chemical Engineering but can also be used by upper secondary school students. Based on feedback from students ($N = 45$) the game provides the students with an opportunity to use Norwegian technical terms, gain an overview over the connections between metallurgical processes and sustainability, and increases interest in metallurgical processes. Students enjoy playing the game and find it fun. Using the game is both an academic and a social activity, providing opportunities for developing competences in a safe learning environment. There are also many opportunities to further develop the game and use it in various ways.

Sammendrag: Brettspill kan brukes som en engasjerende læringsaktivitet som kan styrke faglig kunnskap, forståelse, motivasjon og et positivt læringsmiljø blant studenter. Vi har utviklet et nytt brettspill, *Metallmani*, der spillerne styrer hver sin bedrift innen metallurgisk industri. Underveis må spillerne kjøpe råmaterialer og investere i ulike prosessanlegg, betale for å kjøre prosessene, selge produktene, og forholde seg til CO₂-avgift og andre samfunnsmessige forhold. Vinneren er den som sitter igjen med mest penger når spillet er slutt. Spillet ble utviklet for bruk av bachelor kjemiingeniørstudenter, men kan også brukes i for eksempel Kjemi 2 på videregående skole. Basert på

tilbakemeldinger fra studenter ($N = 45$) gir spillet studentene en anledning til å bruke norske faguttrykk, få oversikt over sammenhengen mellom metallurgiske prosesser og bærekraft, og gir økt interesse for metallurgiske prosesser. I tillegg svarer studentene at de liker å spille spillet og synes det var morsomt. Bruk av spillet er både en faglig og en sosial aktivitet, som gir et godt utgangspunkt for utvikling av kompetanser i et trygt læringsmiljø. Det er også mange muligheter for å videreutvikle spillet og å bruke det på ulike måter.

Keywords: educational games, board games, student active teaching, metallurgical processes, sustainability

Nøkkelord: læringsspill, brettspill, studentaktiv undervisning, metallurgiske prosesser, bærekraft

1 Bakgrunn

Læringsspill av ulike typer har lang historie innen kjemiundervisning (se da Silva et al. (2025) for en historisk oversikt over publiserte spill). Spill kan gi økt kunnskap og forbedre det sosiale samspillet mellom deltagerne (Noda et al., 2019). Forskning på hvordan spill i kjemiundervisningen påvirker motivasjonen, viser at fysiske spill som brettspill har en større positiv effekt enn digitale spill (Xu et al., 2025), kanskje på grunn av det positive samspillet som oppstår mellom studentene.

Denne artikkelen presenterer *Metallmani* som er et brettspill der spillerne bruker metallurgiske prosesser til å omdanne råstoffer til mellomprodukter og materialer. Metallurgiske prosesser er ulike typer teknologier for utvinning og raffinering av metaller fra råstoffer til ferdig metall (Tro, 2021) Dette er ressurskrevende teknologi, både når det gjelder forbruk av energi og råmaterialer. Det er store naturinngrep, utslipp og avfall forbundet med metallurgisk prosessindustri, og det oppstår ofte konflikter mellom bruk og bevaring av natur og kultur. Det kan gjøres mange tiltak for å gjøre industrien mer bærekraftig, og noen eksempler er å effektivisere prosesser, bytte ut råmaterialer, redusere fossil energi, og innføre avgifter på naturinngrep, utslipp og avfall (Callister et al., 2020). Dette spillet forsøker å synliggjøre og sette en pris på noen av disse aspektene relatert til bærekraft, sammen med teknisk forklaring og illustrasjon av de metallurgiske prosessene.

Spillet ble utviklet for bruk i emnet IMAK2002 Uorganisk kjemi, et obligatorisk andreårsemne for bachelor kjemiingeniørstudenter ved NTNU. Til tross for at det eksisterer hundrevis av ulike læringsspill i kjemi, og mange av disse er innen fagfeltet uorganisk kjemi (da Silva et al., 2025), mangler det brettspill om metallurgi og metallproduksjon. Vi har erfart at studentene opplever denne delen av emnet som detaljfokusert, og ønsket å utvikle et spill der studentene bedre kunne se sammenhengen mellom ulike prosesser, samtidig som at bærekraftperspektivet var tydelig. Spillet ble utviklet på norsk for å gjøre studentene tryggere på å bruke norske faguttrykk.

Målet med spillet var å gi studentene:

1. Økt faglig kunnskap om, interesse for, og innsikt i norske faguttrykk knyttet til metallurgiske prosesser.
2. Økt forståelse for sammenhengen mellom metallurgiske prosesser og bærekraft.
3. En studentaktiv undervisningsaktivitet der det faglige og det sosiale knyttes sammen.

2 Metode

2.1 Utvikling av spillet

Forfatterne samarbeidet høsten 2021 om å utvikle et læringsspill om metallurgiske prosesser. Tema for spillet ble bestemt tidlig i prosessen, og spillet ble prøvespilt i flere runder under utviklingen. Det ble valgt et økonomibasert spill der spillerne er industriaktører som bygger ut metallurgisk industri, og spillekort representerer ulike industriprosesser. Denne spillsjangeren krever lite forkunnskaper fra spilleren, er fleksibel med hensyn til spillets kompleksitet, og tilfeldighet og spenning tilføres spillet ved trekking av ulike typer kort.

Mindre endringer og korrigeringer har blitt gjort i flere runder. Eksempelvis ble overskriften på spillebrettet endret og pengesedler med høyere verdi lagt til etter første gjennomføring med studenter, og overskriften på spillebrettet (vist i Figur 1) er endret til «Metallmani» for å vise frem navnet på spillet.

2.2 Gjennomføring med studenter

Spillet er gjennomført med studenter i en ordinær undervisningsøkt hver høst i perioden 2021-2024. Spilløkten har blitt gjennomført som en del av eller i etterkant av øvrig undervisning i temaet metallurgiske prosesser. Oppmøtet har variert fra 14 % til 94 % av de undervisningsmeldte i emnet, og ligger på 42 % totalt for alle fire år. Aktiviteten var frivillig, men høsten 2024 fikk studentene gjennomføring godkjent som en av flere aktiviteter med samlet krav om 70 % deltakelse. Dette ga høyere oppmøte denne høsten.

Studentene fordelte seg med 3 eller 4 spillere per spillebrett, og brukte i overkant av en time på å spille spillet én gang. Inkludert en felles regelgjennomgang i begynnelsen av timen og en kort oppsummering til slutt, har total tidsbruk for studentene vært omtrent 90 minutter. Alle studentene rakk å spille gjennom hele spillet én gang.

Av totalt 50 studenter som har prøvd spillet, har 45 besvart en kort elektronisk spørreundersøkelse om hvordan de syntes spillet fungerte (svarprosent på 90 %). Spørreundersøkelsen ble besvart umiddelbart etter at studentene hadde spilt *Metallmani*. Faglærer har vært med på alle spilløktene, og gjort observasjoner underveis.

3 Resultater

3.1 Beskrivelse av spillet

Metallmani er et brettspill der spillerne styrer hver sin bedrift som prøver å etablere seg innen metallurgisk industri i Norge. Spillet krever ikke at spillerne har bakgrunnskunnskaper om metallurgi, men de må være i stand til å lese kjemiske formler. Ved å kjøpe råstoffer og fasiliteter for å kjøre ulike metallurgiske prosesser kan man omdanne råstoffer til mellomprodukter og videre til ferdige metaller og legeringer. Både

mellomprodukter og sluttprodukter kan selges slik at man igjen kan kjøpe nye råstoffer, fasiliteter og ulike spesialinvesteringer. Vinneren er den som har mest penger til slutt. Figur 1 viser hvordan spillet kan se ut underveis, mens Tabell 1 viser en oversikt over hva man trenger for å spille. Spillet kan brukes av studenter uten veiledning av lærer, men for å komme i gang fortere, er det en fordel med en regelgjennomgang av noen som kjenner spillet. Fullstendige regler, spillebrett og kort er lagt ved som [støttmateriale til denne artikkelen](#).



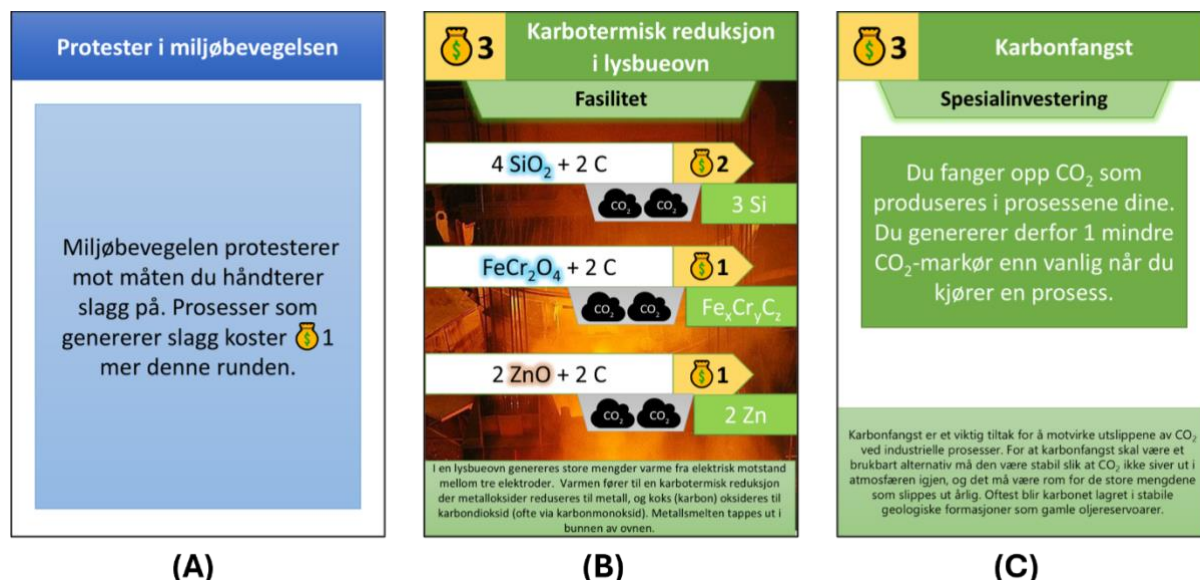
Figur 1. Eksempel på hvordan Metallmani kan se ut underveis i en spillrunde med studenter.

Spillet går over fem runder, hver med fire faser: Samfunnsfasen, Innkjøpsfasen, Produksjonsfasen og Salgsfasen. I Samfunnsfasen trekkes et samfunnskort (Figur 2 (A)), som gjelder for alle spillerne denne runden. Disse kortene vil vanligvis påvirke prisen på enten råmaterialer, produkter eller prosesser. I denne fasen flyttes også karbonmarkøren som viser hva karbonavgiften er denne runden, og alle spillerne får penger fra banken.

Tabell 1. Oversikt over hva spillet består av.

HVA	ANTALL	HVORDAN SKAFFE?	KOMMENTAR
Spillebrett	1	Skrives ut på papir eller papp	A2-format
Spilleregler	1	Skrives ut på papir	1 A4-ark
Spillerguide	1 per spiller	Skrives ut på papir	A5-format (2 per A4-ark)
Penger	24 \$1, 48 \$2, 24 \$5 og 24 \$10	Skrives ut på papir	Totalt 4 A3-ark
Investeringskort	30 fasiliteter og 10 spesialinvesteringer	Skrives ut på papir eller papp	Totalt 10 A4-ark
Samfunnskort	12	Skrives ut på papir eller papp	Totalt 3 A4-ark
Karbonmarkører	15	Kjøpes eller 3D-printes	For eksempel perler, knapper eller tellebrikker
Ressursmarkører	25 per spiller	Kjøpes eller 3D-printes	For eksempel perler, knapper eller tellebrikker
Målmarkører	12 per spiller	Kjøpes eller 3D-printes	For eksempel perler, knapper eller tellebrikker

I Innkjøpsfasen kan alle spillerne kjøpe råstoffer og investeringskort. Det er to typer investeringskort: fasiliteter for å kjøre metallurgiske prosesser (Figur 2 (B)), og ulike spesialinvesteringer som enten gjør prosessene mer lønnsomme eller gir spilleren andre fordeler (Figur 2 (C)). Investeringskortene har en faktarute nederst med informasjon om teknologien eller prosessen. Råstoff kjøpes ved å betale kostnaden til banken, og legge ressursmarkører på spillebrettet for å markere hva man har kjøpt.

**Figur 2.** Ulike typer kort. (A) Samfunnskort, (B) Fasilitet, (C) Spesialinvestering.

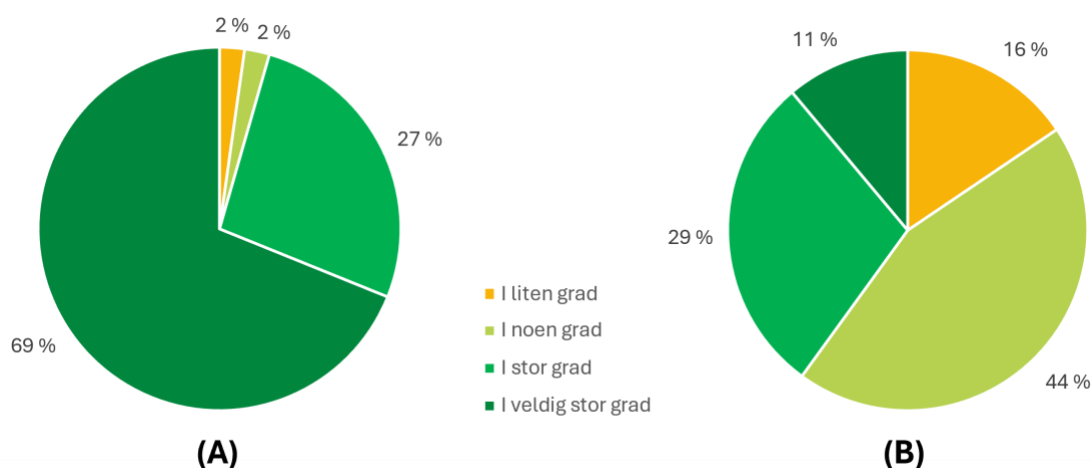
I Produksjonsfasen bruker spillerne råstoffer og fasiliteter til å kjøre metallurgiske prosesser og danne mellomprodukter eller sluttprodukter. De ulike prosessene bruker energi og produserer avfall, og dette må spillerne betale for. Hvis prosessen produserer CO eller CO₂ mottar spilleren karbonmarkører. Når spilleren lager et sluttprodukt spilleren ikke har lagd før, plasseres en målmarkør på sluttproduktet på spillebrettet.

I den siste fasen, Salgsfasen, kan spillerne selge sluttprodukter og eventuelt mellomprodukter for å få penger til å gjøre nye investeringer neste runde. Det er også mulig å betale for å kvitte seg med karbonmarkørene. Etter fem runder får spillerne betalt for hvert investeringskort og hver målmarkør, alle teller opp hvor mye penger de har, og spilleren med mest penger vinner spillet.

Spillet egner seg for 2–4 spillere og tar omtrent en time å spille, noe avhengig av antall spillere. Spilletiden kan lett endres ved å justere hvor mange runder man spiller. Siden spillerne styrer hver sin bedrift og det er ubegrenset hvor mye råstoffer som er tilgjengelig, er det liten grad av interaksjon mellom spillerne. Spillerne trekker hvilke investeringskort de har lov til å kjøpe, noe som gir en viss grad av flaks.

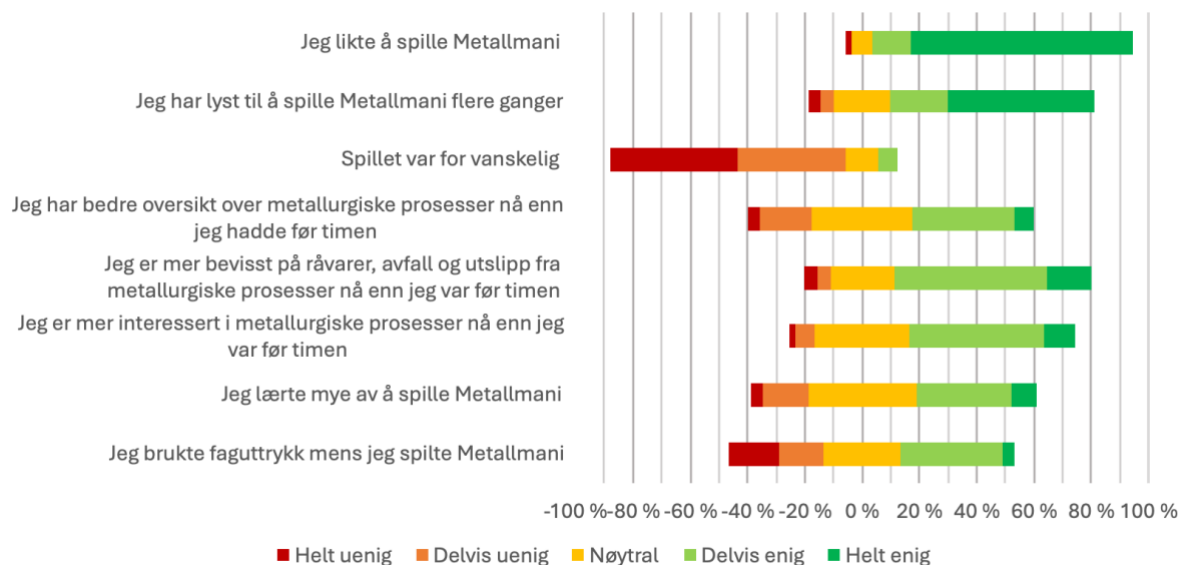
3.2 Resultat fra gjennomføring med studenter

Resultatene fra spørreundersøkelsen viser at nesten alle studentene synes spillet var morsomt (Figur 3 (A)), men noe færre studenter synes det var lærerikt (Figur 3 (B)).



Figur 3. Svarfordeling for påstandene (A) «Jeg synes spillet var morsomt» og (B) «Jeg synes spillet var lærerikt». $N = 45$ for begge påstander.

Faglærer og eventuelt studentassistent som har vært til stede under gjennomføringen har kunnet besvare spørsmål om reglene, men de fleste studentene synes reglene er logiske og enkle å forstå. Dette bekreftes av svarene på spørreundersøkelsen, der få studenter uttrykker at spillet er for vanskelig (se Figur 4). Resultatene viser at nesten alle studentene – over 90 % – sa seg enig i at de likte å spille *Metallmani*, og at de fleste har lyst til å spille *Metallmani* igjen. De fleste studentene mener de både fikk bedre oversikt over metallurgiske prosesser og ble mer bevisste på råvarer, avfall og utslipp i metallurgiske prosesser. Flertallet er også mer interessert i metallurgiske prosesser enn før de spilte *Metallmani*. Noe færre uttrykker at de lærte mye og brukte faguttrykk mens de spilte, men også for disse påstandene er det flere studenter som er enige enn som er uenige.



Figur 4. Resultater fra spørreundersøkelsen, presentert som et divergerende stablet stolpediagram sentrert rundt «nøytral». $N = 44$ for påstanden «Jeg likte å spille Metallmani», $N = 45$ for øvrige påstander.

Faglærerne observerte en positiv og god stemning blant studentene under spilløktene, og alle deltok aktivt og med engasjement i spillet. Resultatet fra spørreundersøkelsen bekrefter dette inntrykket. En stor andel svarte at de likte å spille *Metallmani* (Figur 4), de synes det var morsomt (Figur 3), og de hadde lyst til å spille det igjen (Figur 4).

De fysiske elementene i spillet som markører, kort og penger, så ut til å gi engasjement. Spillets vanskelighetsgrad så ut til å være godt tilpasset studentgruppen, som spørreundersøkelsen også bekrefter. Spillet er ikke for banalt, men heller ikke for komplisert til å sette seg inn på kort tid.

4 Diskusjon

Spillet ble utviklet for å være en sosial og faglig aktivitet der studentene skulle få økt faglig kunnskap og forståelse for metallurgiske prosesser og bærekraft. Nedenfor diskuteres i hvilken grad målene beskrevet i kapittel 1 ble oppfylt, samt ulike muligheter for bruk og videre utvikling av spillet.

4.1 Økt faglig kunnskap om, interesse for, og innsikt i norske faguttrykk knyttet til metallurgiske prosesser

Resultater fra spørreundersøkelsen (Figur 4) viser at en stor andel studenter har lært mye og blitt mer interessert i metallurgiske prosesser etter spillet. *Metallmani* er utformet for å øke teknisk forståelse for metallproduksjon og fagbegreper, men også for å se sammenhenger og konsekvenser som forbruk av ressurser, utslipp og avfall. Spillebrettet viser oversikt over råvarer, mellomprodukter og sluttprodukter. Investeringskortene (Figur 2 (B) og 2 (C)) har en kort infotekst som beskriver prinsippet for den aktuelle prosessen eller teknologien. For å kunne delta i spillet er det nødvendig å bruke fagbegreper slik som navn på metallurgiske prosesser, råvarer, produkter og

mellomprodukter. Dette ble observert under spillingen, og en stor andel av studentene bekrefter i spørreundersøkelsen at de gjorde det.

4.2 Økt forståelse for sammenhengen mellom metallurgiske prosesser og bærekraft

Metallmani gir trening i å se metallurgi i sammenheng og koblet til bærekraft. Spillet synliggjør hvordan samme prosesser kan benyttes til å framstille flere produkter, og at samme råvarer brukes i flere ulike prosesser. Spillbrettet gir en oversikt og sammenheng mellom prosesser (se *Figur 1*). Råvarer og prosesser har ulik pris, og utslipp og avfall koster penger. Pris på råvarer og prosesser reflekterer energiforbruk. Produsert avfall og CO₂-utslipp synliggjøres og prises, og påvirker valg spilleren gjør. Endringer i rammebetingelser som påvirker metallproduksjon skjer underveis i spillet på ulike måter. Karbonavgiften økes gradvis for hver spillrunde. Samfunnskortene (*Figur 2 (A)*) inneholder blant annet politiske beslutninger, endringer i lovverk, uventede hendelser som naturkatastrofer, ulykker og andre faktorer som påvirker rammebetingelsene. Spilleren må forholde seg til uventede endringer og justere spillestrategien etter dette. Vi mener at slik spillet er bygd opp gir det gode forutsetninger for å utvikle kompetanse i å gjenkjenne og forstå sammenhenger, å analysere komplekse systemer, å tenke på hvordan små og store systemer henger sammen, og å håndtere usikkerhet. Det er vanskelig å måle effekten spillet har på utvikling av denne komplekse kompetansen hos studentene, men spørreundersøkelsen gir en indikasjon. Mange studenter svarer at de har bedre oversikt over metallurgiske prosesser enn før, men mange er også nøytrale (se *Figur 4*). En større andel svarer at de er blitt mer bevisst på råvarer, avfall og utslipp i metallurgiske prosesser etter å ha spilt *Metallmani*.

4.3 En studentaktiv undervisningsaktivitet der det faglige og det sosiale knyttes sammen

Det var god stemning under spillingen, og studentene deltok aktivt og var engasjert i spillet. Det kan ha sammenheng med at spillet er et fysisk brettspill som er positivt for motivasjon (Xu et al., 2025).

At spillet har elementer av flaks ved trekking av ulike typer kort kan bidra til å senke faglig prestasjonspress og ufarliggjøre faglig kommunikasjon og aktiv deltagelse. Den positive, gode og trygge atmosfæren som spillet gir, er et godt utgangspunkt for læring og utvikling av kompetanse. Samtidig gir også spillet rom for ikke-faglig kommunikasjon, trening i sosialt samspill og mulighet for studenter til å bli bedre kjent med hverandre.

4.4 Muligheter for bruk og videre utvikling av spillet

4.4.1 Hvor realistisk er spillet?

Et brettspill kan vanskelig representere alle sider ved virkeligheten like realistisk. I utviklingen av *Metallmani* har fokus vært på å presentere kjemiske reaksjoner kvalitativt riktig, på den måten prosessene skjer industrielt. Utslipp, avfall og energiforbruk er forenklet: CO- og CO₂-utslipp fra de ulike reaksjonene er kvantifisert som ingen, litt eller mye (tilsvarer 0, 1 eller 2 karbonmarkører). Avfall er tatt med der det er relevant, men ikke

kvantifisert. Strømforbruk er forsøkt gjenspeilet i prisen det koster å utføre prosessen. Samfunnskortene og spesialinvesteringene er inspirert av mulige virkelige hendelser og teknologier, men i en forenklet form. På en forenklet måte kobles økonomi til bærekraft ved å gi spilleren en kostnad for negative konsekvenser av produksjonen, enten i form av en avgift på utslipp/avfall satt politisk, eller som direkte kostnad ved energiforbruket. På denne måten vil bærekraftige valg spilleren gjør gi mer inntekter og større sjanse for å vinne spillet.

Støkiometri er ikke ivaretatt i de kjemiske reaksjonene, og mengdeforhold og priser er fortrinnsvis valgt av spilltekniske hensyn. Alle prosesser går med økonomisk overskudd, men i forskjellig grad. Målmarkørene gjør det økonomisk gunstig å danne flest mulig ulike sluttprodukter. Dette gir spillerne et insentiv til å utføre mange ulike prosesser, men reduserer realismen. Fasilitetene kan brukes til ulike prosesser fra runde til runde, og dette er lite realistisk.

Læringsutbyttet fra spillet kan øke dersom studentene oppfordres til å reflektere over hvilke elementer i spillet som er realistiske, og hvilke som ikke er det, etter at de har spilt en runde.

4.4.2 Ulike måter å bruke spillet på

Metallmani kan brukes på ulike måter, og med ulike målgrupper. Det er ikke nødvendig at faglærer er til stede mens studentene spiller *Metallmani*, men en introduksjon til spillet og gjennomgang av reglene er lurt for både motivasjon, og for å hjelpe studentene i gang. Siden spillet kan spilles uten forkunnskaper om metallurgi, kan det enten brukes som en introduksjon til temaet, eller som oppsummering etter undervisning i temaet. I videregående skole kan bruk av spillet for eksempel knyttes til kompetansemålet «gi eksempler på produksjon, gjenvinning, deponering og nedbryting av noen metaller og noen typer plast, og drøfte tiltak som er i samsvar med prinsipper for grønn kjemi» fra læreplanen til Kjemi 2 (Utdanningsdirektoratet, 2021).

Vi ser flere muligheter for å øke læringsutbyttet ved å gjøre små justeringer i hvordan *Metallmani* spilles. Kjemien kommer enda tydeligere frem dersom spillerne må forklare hva de gjør når de bruker en fasilitet: Hva heter prosessen? Hvilke råmaterialer inngår? Hva produseres? Hvis produksjonsfasen gjennomføres samtidig for alle spillerne, kan disse detaljene fort forsvinne, men hvis produksjonsfasen i stedet gjennomføres én og én, blir det lettere å få oversikt over andres prosesser. En ulempe er at dette vil øke spilletiden. Uansett bør spillerne alltid lese informasjonsteksten på kortet høyt for de andre spillerne når de kjøper et nytt investeringskort. Til tross for at våre studenter ble oppfordret til dette, ble det gjort i liten grad. En mulighet er å lage samfunnskort som krever at studentene leser informasjonsteksten for å vite om effekten av samfunnskortene påvirker dem.

Samfunnskortene kan utnyttes til å påvirke spillet på flere måter. Hvis ønskelig kan underviseren bestemme hvilke samfunnskort som skal spilles, og kanskje også i hvilken rekkefølge. Dette kan brukes til å illustrere utallige ulike samfunnsforhold og hvordan de påvirker lønnsomheten til prosessene. Det går også an å lage nye samfunnskort for de scenarioene man ønsker å belyse.

Små variasjoner i reglene kan gjøres for å endre spillopplevelsen. Spillet blir mindre komplisert ved å fjerne samfunnskortene, spille uten målmarkørene og ha enten

konstant eller ingen CO₂-avgift. Spillet kan utvides ved å introdusere en avgift for å produsere avfall eller legge til flere forbindelser og prosesser, for eksempel separasjon av mineraler fra malmer. Dette vil kreve at nye investeringskort lages, og at spillbrettet tegnes på nytt for å legge til de aktuelle forbindelsene. Spillereglene kan være som før. Tilsvarende vil det å fjerne noen forbindelser og prosesser gjøre det lettere for spillerne å få oversikt. Nesten ingen studenter ga uttrykk for at *Metallmani* var for vanskelig, men å redusere kompleksiteten kan likevel være aktuelt, enten for å bruke spillet for andre studentgrupper, eller for å lettere kunne fokusere på de viktigste prosessene.

Vinneren av spillet er den som har mest penger etter fem runder. Antall runder kan justeres, men med flere runder kan det bli vanskelig for spillerne å beholde oversikten. En annen mulighet er å heller si at vinneren er den som først oppnår et bestemt antall målmarkører eller et forhåndsbestemt beløp (\$50-\$100 vil være passende). Det vil være relativt enkelt å inkludere oppdrag som må løses, enten for å vinne spillet, eller for å oppnå en bonus. Et oppdrag kan for eksempel være å danne to eller tre sluttprodukter som til sammen inngår i produksjon av et solcellepanel eller en vindturbin. Slike oppdrag kan enten være individuelle eller felles for alle spillerne.

4.4.3 Kan et lignende konsept brukes i andre fagfelt?

Metallmani er bygd opp rundt metallurgiske prosesser. Vi mener at det er gode muligheter for at strukturen i spillet kan overføres til andre faglige temaer med små justeringer. Spillstrukturen er egnet for flere typer prosesser og produksjon, for eksempel produksjon av matvarer, medisiner, kjemikalier eller forbruksprodukter. Kanskje kan det også overføres til biologiske prosesser. Strukturen er også egnet for prosesser i avfallshåndtering som resirkulering, energigjenvinning, reparasjon og gjenbruk. Et kortspill om grønn kjemi og resirkulering kalt «Green machine» (Miller et al., 2019) kan brukes til inspirasjon for utvikling av denne type spillkonsept.

5 Konklusjon

Læringsspillet *Metallmani* ble utviklet for bruk i emnet IMAK2002 Uorganisk kjemi ved NTNU høsten 2021. *Metallmani* er brettspill der spillerne styrer hver sin bedrift som prøver å etablere seg innen metallurgisk industri i Norge. Ved å kjøpe ulike metallurgiske prosesser og nødvendige råstoffer kan man omdanne råstoffer til mellomprodukter og videre til ferdige metaller og legeringer. Pris på råvarer og prosesser reflekterer energiforbruk. CO₂-utslipp og produsert avfall synliggjøres og prises i spillet og påvirker valg spilleren gjør. Spillerne må forholde seg til uventede endringer og justere strategien sin etter de nye rammebetingelsene. Spillet gir trening i å se metallurgiske prosesser i en større sammenheng og koblet til bærekraft. *Metallmani* ble prøvd ut med studenter som en del av undervisningen i perioden 2021-2024.

Resultatene viser at en stor andel studenter har brukt faguttrykk, lært mye og blitt mer interessert i metallurgiske prosesser. Mange studenter svarer at de har bedre oversikt over metallurgiske prosesser enn før, og blitt mer bevisst på råvarer, avfall og utslipp i metallurgiske prosesser etter å ha spilt *Metallmani*. De både likte å spille *Metallmani*, de synes det var morsomt, og hadde lyst til å spille det igjen.

Målene med spillet var økt faglig kunnskap om, interesse for, og innsikt i norske faguttrykk knyttet til metallurgiske prosesser, økt forståelse for sammenhengen mellom

metallurgiske prosesser og bærekraft, og at spillet skulle være en studentaktiv undervisningsaktivitet der det faglige og det sosiale ble knyttet sammen. Basert på studentenes tilbakemeldinger og egne observasjoner mener vi at spillet har bidratt positivt til å nå disse målene.

Spillet kan benyttes i undervisning på flere måter. Det er uansett viktig at spillet introduseres for studentene på en god måte. Vi ser også flere muligheter for å øke læringsutbyttet ved å gjøre små justeringer i hvordan *Metallmani* spilles. Det er også gode muligheter for at strukturen i spillet kan overføres til andre faglige temaer med små justeringer.

Takk til

Vi vil takke Fakultet for naturvitenskap ved NTNU for midler til å utvikle spillet.

Referanser

- Callister, W. D. & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: an introduction* (10th ed., global ed.). Wiley.
- da Silva, J. N. J., Teotônio, M. do S. C., Silveira Jucá, R. C., Castro, G. de L., & Melo Leite, A. J. J. (2025). 1925–2024: One Century of Educational Games in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 102(4), 1492–1510. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01238>
- Miller, J. L., Wentzel, M. T., Clark, J. H., & Hurst, G. A. (2019). Green Machine: A Card Game Introducing Students to Systems Thinking in Green Chemistry by Strategizing the Creation of a Recycling Plant. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 3006–3013. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00278>
- Noda, S., Shiotsuki, K., & Nakao, M. (2019). The effectiveness of intervention with board games: A systematic review. *BioPsychoSocial Medicine*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13030-019-0164-1>
- Tro, N. J. (2021). *Chemistry: a molecular approach* (5th ed., global ed.). Pearson.
- Utdanningsdirektoratet. (2021). *Læreplan i kjemi (KJE01-02)*. Fastsatt som forskrift. <https://data.udir.no/kl06/v201906/laereplaner-lk20/KJE01-02.pdf?lang=nob>
- Xu, J. J., Sun, X. F., Liu, Y. N., Zhang, S. Y., & Zhou, Q. (2025). Effects of Game-Based Learning on Students' Motivation in Chemistry: A Meta-analysis. *Journal of Chemical Education*, 102(3), 1117–1128. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01304>