

Lærervejledning

Bionedbrydning af plastik med enzymer

Beskrivelse af undervisningsmateriale

Projektet omhandler bionedbrydning af plastiktypen PET fra vandflasker vha. af to enzymer fra bakterien *I. sakaiensis*. Formålet er at give eleverne en mere dybdegående forståelse af enzymeres struktur, funktion og mekanisme, ved at inddrage organisk kemi samt 2D/3D modeller. Dette tager udgangspunkt i det relativt nye forskningsfelt, der undersøger, hvordan forskellige enzymer kan bruges til at nedbryde plastikaffald.

Undervisningsmaterialet består af baggrundsteori og en case omhandlende bionedbrydning af plastikket, PET. Projektet lægger op til, at eleverne som lektier kan læse baggrundsteorien samt løse opgaver og derefter læse og gennemgå casen i et modul i skolen.

Anvendelse

Baggrundsteori

Baggrundsteorien er til for, at eleverne enten kan få opfrisket eller lære den nødvendige teori for at forstå casen. Det er dog væsentligt, at eleverne har læst introduktionen samt afsnittene **Strukturen af plastik**, **Illustration af proteiner**, **Funktionen af enzymer** og **Det aktive site**. Det skulle gerne tage ca. 1 time at læse baggrundsteorien og løse de tilhørende opgaver.

Case

Casen kan læses efter baggrundsteorien er læst og opgaverne dertil løst. Materialet i casen indeholder også teori, der er specifik for casen, men som også kan ligge udenfor pensum. Især nogle af afsnittene kan være lidt avancerede og derfor foreslås det, at eleverne har hinanden og en lærer til rådighed til at sparre med.

Opgaver

Opgaverne består både af multiple choice spørgsmål, forklarende spørgsmål, og spørgsmål der er mindre redegørende, men i sin enkelthed går ud på, at eleverne skal undersøge enzymerne.

Der indgår spørgsmål for at sikre, at eleverne har forstået teorien ordentligt. I casen indgår der opgaver, hvor eleverne skal bruge internettet [RSCB Protein Data Bank](https://www.rcsb.org/). Der er enkelte opgaver i både baggrundsteorien og casen, hvor eleverne skal tegne på figurer.

Niveau

Bioteknologi A (2. - 3. g)

Læringskomponenter	
Teori – grundteori om emnet	X
Teori – case-baseret teori	X
Opgaver – teoretiske spørgsmål	X
Opgaver - problemløsning	X

Dækket kernestof - jf. [Læreplan "Bioteknologi A – stx 2017"](#)

- Kemiske bindingstyper
- Enzymer: Enzymatiske hovedklasser
- Makromolekyler: Opbygning, egenskaber og biologisk funktion af proteiner, herunder enzymer
- Organisk kemi: Stofkendskab, herunder navngivning, opbygning, egenskaber og isomeri og anvendelse for stofklasserne alkoholer, carboxylsyrer og estere, samt opbygning af og relevante egenskaber for stofklasserne carbonhydrider, aldehyder, ketoner, aminer, amider og aminosyrer
- Organiske reaktionstyper: Hydrolyse

Dækket supplerende stof - jf. [Læreplan "Bioteknologi A – stx 2017"](#)

- Bioteknologisk anvendelse af mikroorganismer
- Miljøteknologi og miljøbeskyttelse
- Ny forskning og nye bioteknologiske metoder

Indholdsbeskrivelse af de enkelte dele

Baggrundsteori – Intermolekylære bindinger

Dette afsnit beskriver 4 typer af intermolekylære bindinger; ionbindinger, dipol-dipol interaktioner, hydrogenbindinger, og London-bindinger. Afsnittets formål er at opfriske disse typer af bindinger for eleverne for senere bedre at kunne forstå interaktionen mellem enzym og substrater.

Baggrundsteori – Funktionelle grupper

Afsnittet giver en kort gennemgang af hydroxygrupper, aminer, estere, ether og aromater, samt hvordan sidekæder kan betegnes som R i organisk kemi. Igen er formålet at opfriske eleverne, hvis det er lang tid siden, emnet har været behandlet.

Baggrundsteori – Strukturen af plastik

Afsnittet beskriver strukturen af de 5 mest almindelige typer af plastik, samt hvordan plastik fremstilles fra råolie. Formålet er at eleverne skal introduceres til opbygningen af plastik samt annotation af polymerer.

Baggrundsteori – Enzymer

Dette afsnit er en kortfattet version af en stor del af kernestoffet for enzymer, men med særligt fokus på det aktive site. I afsnittet er der inkluderet underafsnit, der beskriver enzymernes hovedklasser, strukturniveauer, funktion samt cofaktorer og coenzymer. De to hovedpointer i afsnittet er, at enzymer binder sig til deres substrat med høj affinitet og specificitet, og når substrater binder sig til det aktive site, vil det forårsage strukturelle ændringer i enzymet.

Fordi casen og de tilhørende opgaver bruger en del illustrationer af enzymer, inkluderer afsnittet også en beskrivelse af, hvordan proteiner kan fremstilles forskelligt i illustrationer, og hvad det væsentlige ved de forskellige fremstillinger er.

De to underafsnit: **Funktionen af enzymer** og **Det aktive site** beskriver detaljeret, hvordan substrater omdannes til produkter ved induced fit-mekanismen. Der indgår også en beskrivelse af det aktive site; hvordan det kan deles op i bindings- og katalyseringsdel, samt hvordan dets kemiske egenskaber passer til de substrater, det binder. Formålet med at eleverne sættes godt ind i induced fit-mekanismen og det aktive site er at klæde eleverne på til at løse casen, der går i dybden med det aktive site af et enzym.

Case – Strukturen af PET plastik

Dette afsnit beskriver fremstillingen og den kemiske opbygning af den bestemte type plastik, PET, som er det plastik, der bliver nedbrudt i casen.

Case – Enzymerne PETase & MHETase

Afsnittet beskriver, hvordan en specifik bakterie vha. to enzymer, PETase og MHETase, nedbryder og optager plastikket, PET. Der bliver gennemgået, hvordan polymeren af PET kløves til monomeren, hvilket er første skridt i bionedbrydningen. Her inkluderes der et underafsnit om det aktive site i PETase, hvor de specifikke aminosyrer, der hhv. binder til substratet og katalyserer reaktionen, identificeres, med fokus på de kemiske egenskaber i det aktive site.

Dette er et afsnit med mange nye forkortelser, og det kan derfor tage lidt længere tid for eleven at læse end de forudgående afsnit.

Case – Det aktive site i PETase

Afsnittet beskriver detaljeret det aktive site i PETase, hvilke aminosyrer der befinder sig i det, samt hvordan det interagerer med PET substratet.

Case – Enzymerne katalyserer hydrolysen

Her beskrives reaktionen for nedbrydning af polymeren, ester hydrolyse, hvilket forklares både som en simpel et-trins reaktion og også i en avanceret version for de elever, der gerne vil udfordres ekstra. Afsnittet indeholder også en forklaring af en katalytisk triade, hvilket er vigtigt for ester hydrolysen i PETase.

Case - Andre PET nedbrydende enzymer

Dette afsnit handler om, at man allerede kender til, at enzymerne, cutiner, har kunnet nedbryde plastik, og går primært ud på, at eleverne bruger opgaverne til visuelt at undersøge enzymerne vha. [RSCB Protein Data Bank](https://www.rcsb.org/).

For at runde projektet af, beskriver underafsnittet: "*PET nedbrydning i praksis*", hvor langt forskning om bionedbrydning er lige nu.