



Mahdollisuudet hyödyntää konenäköä ja tekoälyä jätteiden lajittelussa

KAP – Kiertotalouden digitaaliset autonomiset palvelut

Hanna Salopaasi ja Sonja Kedonperä

HAMK Tech

Hämeen ammattikorkeakoulu Oy

Sisällysluettelo

Johdanto	1
1. Sovelluksen kuvaus	2
2. Sovelluksen jatkokehitystarpeet	4
3. Tulokset	6
4. Yhteenveto ja johtopäätökset	7
Kuva 1. Kuvakaappaus sovelluksesta tunnistamassa kemikaalia.	3
Kuva 2. Kuvakaappaus sovelluksen hieman virheellisestä kuvantunnistuksesta.	3

Johdanto

Konenäkö tarjoaa uusia mahdollisuuksia tukea jätehuoltoa ja helpottaa asiakkaiden arkea. Erityisesti vaarallisen jätteen tunnistaminen ja oikean käsittelytavan valinta koetaan usein hankalaksi, sillä tuotteet voivat näyttää arkisilta, vaikka ne sisältäisivät terveydelle tai ympäristölle haitallisia aineita. Esimerkiksi monet kotitalouksissa käytettävät maalit, liuottimet, paristot ja vanhat lääkkeet sisältävät aineita, jotka voivat olla ympäristölle tai terveydelle haitallisia, mutta joita ei aina tunnisteta vaaralliseksi jätteeksi. Virheellinen lajittelu voi aiheuttaa ympäristöhaittoja, turvallisuusriskejä sekä lisäkustannuksia jätehuollon eri vaiheissa.

Hämeen ammattikorkeakoulun toteuttamassa ja Euroopan unionin osarahoittamassa KAP – Kiertotalouden digitaaliset autonomiset palvelut -hankkeessa selvitettiin mahdollisuutta hyödyntää tekoälyä ja kuvantunnistusta vaarallisen jätteen tunnistamiseen. Raportissa käsitellään asiaa konseptitasolla: voisiko prototyyppi olla osa digitaalista palvelua, jonka tarkoituksena on ohjata asiakkaita liikkumaan turvallisesti alueella ja opastaa materiaalien kierrätyksessä. Ratkaisun tavoitteena on tukea asiakkaita tilanteissa, joissa jätteen oikea käsittely on epäselvää, ja ohjata jäte mahdollisimman varhaisessa vaiheessa oikeaan käsittelyyn.

Kuvantunnistukseen perustuva ratkaisu mahdollistaisi sen, että jätteen tunnistaminen tapahtuisi yksinkertaisesti ottamalla kuva pakkauksesta esimerkiksi älypuhelimella. Käyttäjän ei tarvitse tuntea vaarallisen jätteen symboleita tai jätehuollon yksityiskohtaisia ohjeita, vaan tekoäly tarjoaa tukea päätöksentekoon. Tällainen lähestymistapa voi vähentää virheitä ja parantaa lajittelun laatua.

Ratkaisun haasteena on se, että jätteet tuodaan jäteasemalle usein muissa kuin alkuperäisissä pakkauksissaan. Tällöin tunnistetiedot, kuten varoitusmerkit ja tuotenimet, puuttuvat, mikä vaikeuttaa jätteen asianmukaista käsittelyä ja tunnistamista.

1. Sovelluksen kuvaus

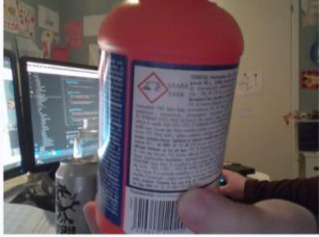
Sovellus on kehitetty osana KAP-hanketta vastaamaan tarpeeseen tutkia tekoälyn hyödynnettävyyttä vaarallisen jätteen tunnistamisessa ja asiakasohjauksessa. Sovelluksen teknisestä toteutuksesta vastasi hankkeessa työskennellyt sovelluskehittäjä. Sovelluksen toteutuksessa hyödynnettiin Microsoft Azuren OpenAI-palvelua, joka mahdollisti valmiiden tekoälymallien hyödyntämisen kuvien analysoinnissa. Ratkaisu valittiin, koska palvelu oli helposti saatavilla ja soveltui hyvin prototyypitason kokeiluun. Kehitystyön tavoitteena ei ollut tuottaa valmista kaupallista tuotetta, vaan selvittää prototypoimalla, miten kuvantunnistus voisi tukea jätehuollon palveluita tulevaisuudessa.

Sovellus rakennettiin erityisesti jätehuoltoyhtiön tarpeita ajatellen. Tekoälyä ohjattiin tunnistamaan erityisesti vaaralliseen jätteeseen liittyviä tuotteita, varoitusmerkkejä ja pakkaustietoja sekä luokittelemaan jäte ennalta määriteltuihin jäteluokkiin. Tekoälyn vastausrakennetta yksinkertaistettiin siten, että käyttäjä saa teknisten yksityiskohtien sijaan selkeän yhteenvedon tunnistuksesta ja jäteluokasta. Lisäksi sovellukseen lisättiin jätehuoltoyhtiö Kiertokapulän lajitteluohjeisiin perustuvat hävitysohjeet, jotta käyttäjälle voidaan antaa mahdollisimman käytännönläheinen toimintaohje tunnistuksen perusteella. Kehitystyössä pyrittiin korostamaan erityisesti helppokäyttöisyyttä ja matalaa käyttökynnystä, jotta palvelu voisi soveltua myös käyttäjille, joilla ei ole ennakkotietoa vaarallisten jätteiden käsittelystä.

Toteutetussa ratkaisussa käyttäjä ottaa mobiililaitteellaan, tabletillaan tai kamerallisella tietokoneellaan kuvan jätteestä, jonka käsittelystä hän on epävarma. Kuva lähetetään taustajärjestelmään, jossa tekoäly analysoi sen sisältöä. Analyysissä pyritään tunnistamaan, millaisesta tuotteesta on kyse, näkyykö kuvassa vaaramerkintöjä tai varoitustekstejä sekä mihin ennalta määriteltyn vaarallisen jätteen kategoriaan tuote todennäköisimmin voisi kuulua. Tunnistuksen jälkeen käyttäjälle näytetään vastaus, joka sisältää yhteenvedon havainnoista sekä jäteluokkaan perustuvat hävitysohjeet. Ohjeet on esitetty suomeksi ja ne on muotoiltu Kiertokapulän lajitteluohjeiden pohjalta. Tekniset yksityiskohdat jäävät taustalle, eikä käyttäjän tarvitse ymmärtää tekoälyn toimintaa saadakseen hyödyn sovelluksesta.

KAP – Kiertotalouden digitaaliset autonomiset palvelut
10.6.2026

Tuote: Nestemäinen puhdistusaine tai kemikaali
Vaaramerkinnät: Syövyttävä (symboli) VAARA / FARA (varoitusteksti)
Jätekategoria: CHEMICAL_WARNING_PRODUCTS, Luotettavuustaso: korkea



Kierrätysohjeet:

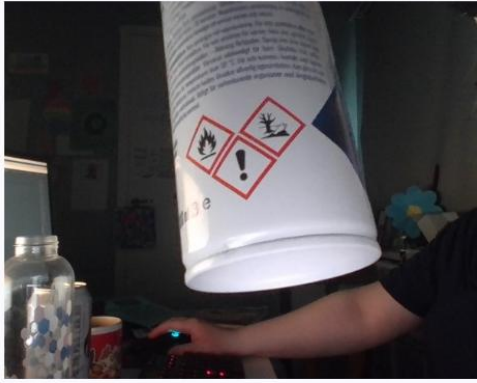
- Älä laita kemikaalivaroitusmerkinnällä varustettuja tuotteita sekajätteeseen.
- Säilytä alkuperäispakkauksessa, jos mahdollista.
- Vie kunnan vaarallisen jätteen keräyspisteeseen.

Ota uusi kuva

Kuva 1. Kuvakaappaus sovelluksesta tunnistamassa kemikaalia.

Kuvassa 1 on sovelluksen toiminnasta esimerkki, jossa tuote tunnistetaan oikein. Sovellukseen liitetystä kuvasta tekoäly on tunnistanut tuotteen olevan nestemäinen puhdistusaine tai kemikaali, jossa on syövyttävän aineen symboli ja "VAARA"-varoitusteksti. Tässä tapauksessa tekoäly on arvioinut tunnistuksen luotettavuustasoksi korkean (asteikolla matala-keskitaso-korkea). Sovellukseen liitetty kuva on otettu putkenavausrakeista, joten tekoäly osui tunnistuksessa oikeaan.

Tuote: Kemiallinen tuote (neste tai liuos)
Vaaramerkinnät: Helposti syttyvä, Haitallinen ympäristölle, Varoitusmerkki (huutoimerkki)
Jätekategoria: CHEMICAL_WARNING_PRODUCTS, Luotettavuustaso: korkea



Kierrätysohjeet:

- Älä laita kemikaalivaroitusmerkinnällä varustettuja tuotteita sekajätteeseen.
- Säilytä alkuperäispakkauksessa, jos mahdollista.
- Vie kunnan vaarallisen jätteen keräyspisteeseen.

Kuva 2. Kuvakaappaus sovelluksen hieman virheellisestä kuvantunnistuksesta.

Kuva 2 näyttää sovelluksen toiminnasta toisen esimerkin, jossa tekoäly antaa hieman virheellisen tuloksen tuotetta tunnistaessaan. Tekoäly on tunnistanut sovellukseen liitetyn kuvan kemiallisen tuotteen olevan neste tai liuos, jossa on helposti syttyvän ja ympäristölle haitallisen aineen vaaramerkinnät sekä varoitusmerkintä (huutomerkki). Tässäkin tapauksessa tekoäly on arvioinut tunnistuksen luotettavuustasoksi korkean.

Todellisuudessa kuvan pakkaus on kosteussuojasuihke (spray), ei siis neste. Aerosolipullon tunnistuksessa olisi oletettavasti auttanut se, että kuva olisi otettu koko pullosta tai jos pakkauksessa olisi ollut muiden varoitusmerkkien lisäksi myös paineistettu kaasu - varoitusmerkki. Vaaramerkinnät ja siten myös kierrätysohjeet ovat kuitenkin oikein.

2. Sovelluksen jatkokehitystarpeet

Tekoällyn luotettavuus riippuu käytettävissä olevasta kuvamateriaalista; mitä laajemmin erilaisia vaarallisia jätteitä ja pakkaustyyppisiä järjestelmä oppii tunnistamaan, sitä paremmin se toimii myös heikompilaatuisten tai muuten haastavien kuvien kanssa. Tunnistuksen tarkkuuden parantaminen vaatii ennen kaikkea laajempaa ja laadukkaampaa opetus- ja testiaineistoa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tekoällylle tulee tarjota suuri määrä erilaisia kuvia vaarallisista jätteistä eri tilanteissa ja ympäristöissä. Kuvamateriaalin tulisi sisältää esimerkiksi erilaisia pakkaustyyppisiä, kuluneita etikettejä, osittain peittyneitä varoitusmerkkejä sekä eri valaistusolosuhteissa otettuja kuvia. Mitä monipuolisempaa aineistoa tekoäly pystyy hyödyntämään, sitä paremmin se oppii tunnistamaan tuotteita myös haastavissa olosuhteissa ja tilanteissa.

Kehitystyön kannalta olisi tärkeää kerätä palautetta tunnistuksen onnistumisesta ja mahdollisista virhetilanteista. Keräämällä dataa ja analysoimalla tilanteita, joissa tekoäly tekee virheellisiä tulkintoja tai on epävarma vastauksestaan, voitaisiin parantaa tekoälymallin luotettavuutta ja mahdollistettaisiin mallin jatkuva kehittäminen. Lisäksi jatkokehityksessä tulisi huomioida useamman tekoälymallin yhdistäminen teknisesti tarkemman tunnistuksen mahdollistamiseksi tulevaisuudessa. Käyttämällä yhtä tekoälymallia tunnistamaan tuotteen, toista tekoälymallia tunnistamaan varoitusmerkinnät ja kolmatta tekoälymallia lukemaan pakkauksissa näkyviä tekstejä tunnistuksen luotettavuutta voitaisiin parantaa erityisesti tilanteissa, joissa yksittäinen tunnistusmenetelmä ei yksin riitä varmaan lopputulokseen.

Tunnistuksen tarkkuus edellyttää tarkasti määriteltyjä jäteluokkia ja selkeitä sääntöjä siitä, miten tekoälyn tulee tulkita eri tilanteita. Nykyisessä prototyyppissä tunnistus perustuu pääasiassa pakkauksen ulkoisiin ominaisuuksiin ja näkyviin varoitusmerkkeihin.

Käytännössä monet tuotteet voivat kuitenkin muistuttaa toisiaan ulkoisesti, vaikka niiden käsittelyvaatimukset olisivat erilaiset. Lisäksi sovelluksen tulisi pystyä huomioimaan tilanteet, joissa tuote kuuluu useaan eri jäteluokkaan. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että tekoäly ei luokittelisi tuotetta vain yhteen jäteluokkaan, vaan tunnistaisi esimerkiksi akullisen sähkötyökalun sekä elektroniikkajätteenä että akkua sisältäväksi tuotteeksi. Tällöin sovelluksen kautta voitaisiin mahdollisesti ohjeistaa käyttäjää irrottamaan laitteessa oleva akku tai informoida, että tuote kuuluu erityiskäsittelyä vaativaan jäteluokkaan. Siten käyttäjä saisi mahdollisimman tarkan lajitteluoheen tuotteelleen, mikä voisi parantaa turvallisuutta ja vähentäisi virheellisen lajittelun riskiä.

Toinen käytännön esimerkki voisi olla aerosolityyppinen puhdistusaine, joka sisältää sekä painepakkauksen että vaarallisen kemikaalin ominaisuuksia. Nykyisessä luokittelussa järjestelmä saattaa valita vain yhden pääluokan, vaikka turvallisen käsittelyn näkökulmasta olisi tärkeää huomioida molemmat ominaisuudet. Jatkokehityksessä tekoäly voisi muodostaa kokonaisarvion, jossa huomioidaan samanaikaisesti esimerkiksi kemikaalivaroitukset, painepakkausmerkinnät ja tuotteen käyttötarkoitus. Käytännössä tämä edellyttäisi sitä, että järjestelmän taustalla olevat jäteluokkia ja tunnistussääntöjä tarkennetaan enemmän yksityiskohtaisemmiksi. Tunnistuksen tavoitteena ei olisi enää vain nimetä tuotetta yhteen luokkaan, vaan arvioida myös, mitä turvallisuus- tai käsittelyominaisuuksia tuotteeseen liittyy. Tämä lähestymistapa vastaisi paremmin todellisia jätehuollon tilanteita, joissa yhdellä tuotteella voi olla useita huomioitavia käsittelyvaatimuksia.

Teknisesti sovellus on rakennettu modulaarisesti, mikä mahdollistaa sen hyödyntämisen myös muissa jätehuollon käyttökohteissa. Modulaarisella rakenteella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että sovellus on rakennettu useista erillisistä osista, joilla jokaisella on oma tehtävänsä. Yksi osa vastaa kuvan vastaanottamisesta, toinen tekoälyn suorittamasta tunnistuksesta ja kolmas käyttäjälle näytettävistä ohjeista. Tällainen rakenne helpottaa järjestelmän kehittämistä, koska yksittäisiä osia voidaan muuttaa tai laajentaa ilman, että koko sovellusta tarvitsee rakentaa uudelleen. Jatkokehityksen kannalta tämä on merkittävä etu, kun esimerkiksi tunnistukseen käytettävä tekoälymalli voidaan myöhemmin vaihtaa

tarkempaan tai laajempaan malliin ilman suuria muutoksia käyttöliittymään tai muihin toimintoihin. Samoin uusia jäteluokkia tai hävitysohjeita voidaan lisätä järjestelmään vaiheittain tarpeiden mukaan.

Modulaarinen rakenne mahdollistaa myös sen, että samaa teknistä ratkaisua voidaan hyödyntää useissa eri käyttötarkoituksissa. Vaikka nykyisessä prototyypissä keskitytään vaaralliseen jätteeseen, voitaisiin tunnistus myöhemmin laajentaa esimerkiksi rakennusjätteeseen, sähköromuun tai materiaalien lajittelun opastamiseen. Käytännössä tämä vähentää jatkokehityksen työmäärää ja tekee ratkaisusta joustavamman tulevia tarpeita varten. Lisäksi rakenne helpottaa järjestelmän ylläpitoa ja testaamista. Jos yhdessä osassa havaitaan virhe tai kehitystarve, korjauksia voidaan tehdä kohdistetusti ilman merkittävää vaikutusta koko palvelun toimintaan. Tämä pienentää jatkokehityksen riskejä ja tukee ratkaisun pitkäjänteistä kehittämistä osana jätehuollon digitaalisia palveluita.

Ratkaisua on myös mahdollista kehittää siten, että käyttäjälle voitaisiin tarjota aina ajantasaista ja juuri kyseistä aluetta koskevat toimintaohjeet sekä keräyspisteet. Lisäksi jatkokehityksessä suositellaan huomioitavan saavutettavuus ja monikielisyys, jotta palvelu olisi käytettävissä mahdollisimman laajalle asiakaskunnalle. Jatkokehitys vaatisi myös tarkempaa mallin ohjaamista ja testaamista todellisilla jätehuollon esimerkkitapauksilla tai oppivalla järjestelmällä, joka kehittyy anonyymien käytöstä saadun palautteen avulla, ja voisi jatkossa edelleen parantaa tunnistuksen luotettavuutta pitkällä aikavälillä.

3. Tulokset

KAP-hankkeessa kehitettiin itsepalvelua edistävää digitaalista palvelua, jonka avulla voidaan ohjata käyttäjiä liikkumaan turvallisesti alueella ja opastaa materiaalien kierrätyksessä. Tässä kehitysprojektissa tunnistettiin tarve tukea asiakasta tilanteissa, joissa jätteen oikea käsittely on epäselvää siksi, että jätettä ei tunnisteta. Rajasimme sovelluspilotin tunnistamaan vain alkuperäispakkauksissa olevia vaarallisia jätteitä, ja selvitimme, voisiko tekoälyn avulla olla mahdollista tunnistaa vaarallinen jäte ja mahdollistaa turvallisempi asiointi kierrätysalueella.

Tutkimuksen rajausta johtuu siitä, että tekoäly tunnistaa tuotteen kuvassa näkyvän pakkauksen tiedoista, kuten varoitusmerkeistä, väreistä, teksteistä ja pakkauksen muodosta. Sen vuoksi

ratkaisu toimii ainoastaan tilanteissa, joissa vaarallinen jäte on edelleen alkuperäispakkauksessaan ja tunnistetiedot ovat näkyvissä. Jos aine on siirretty esimerkiksi merkitsemättömään pulloon, vanhaan elintarvikepakkaukseen tai muuhun astiaan, tekoäly ei pysty tunnistamaan sisältöä luotettavasti ja pahimmillaan antaa käyttäjälle virheellistä tietoa.

Hankkeessa toteutettu ratkaisu on luonteeltaan kokeellinen selvitys tekoälyn hyödyntämismahdollisuuksista jätehuollossa, eikä se ole valmis sellaisenaan luovutettavaksi jätehuollon käyttöön. Ratkaisun käyttö perustuu ulkoiseen tekoälypalveluun, mikä edellyttäisi jatkuvaa teknistä ylläpitoa, valvontaa ja jatkokehitystä, jotta sen toiminta pysyisi luotettavana ja turvallisena. Vaikka ratkaisu on prototyyppi, se osoittaa, että vaarallisen jätteen tunnistaminen tekoälyn ja kuvantunnistuksen avulla on joltain osin jo nyt mahdollista.

Jatkokehitys voisi mahdollistaa sovelluksen käyttämisen keinona välittää jätehuollon ohjeistuksia käyttäjille helposti ymmärrettävässä muodossa ja tekoälyn hyödyntämisen linkkinä monimutkaisten määräysten ja käyttäjän välillä. On kuitenkin syytä korostaa, että ratkaisu ei kykene arvioimaan aineen todellista kemiallista sisältöä ja siten sen turvallisuutta. Tekoälyn toiminta perustuu todennäköisyyksiin eikä varmaan tunnistukseen. Tämän vuoksi järjestelmä voi tehdä virheellisiä tulkintoja erityisesti tilanteissa, joissa tuotteet muistuttavat ulkoisesti toisiaan, kuva on epäselvä tai pakkauksen tiedot ovat puutteellisia.

Ratkaisun keskeinen hyöty käyttäjälle ja jätehuollolle liittyy turvallisuuteen ja sujuvuuteen. Kun vaarallinen jäte tunnistetaan jo jätteen syntypaikalla, jäte ohjautuu todennäköisemmin oikeaan käsittelyyn, mikä vähentää vaarallisten aineiden päätymistä sekajätteeseen ja pienentää riskiä, että jätehuollon kuljetuksessa, käsittelyssä tai vastaanotossa syntyy vaaratilanteita. Ratkaisu tukisi myös jäteasemien ja asiakaspalvelun toimintaa, kun asiakkailta on jo jäteasemalle saapuessaan ymmärrys tuomansa jätteen laadusta ja lajitteluvaatimuksista, minkä seurauksena voimme olettaa, että tarve erilliselle neuvonnalle ja virheiden jälkikäsittelylle vähenisi, mikä osaltaan sujuvoittaisi jäteasemilla asiointia.

4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksen mukaan tekoäly ja kuvantunnistus voivat tulevaisuudessa tukea sekä jätehuoltoa sen operatiivisessa toiminnassa, että käyttäjää jätteen tunnistamisessa ja lajittelun opastamisessa. Vaikka kyseessä on prototyyppi, se luo selkeän perustan

jatkokehitykselle ja osoittaa, että tekoäly voi tuottaa konkreettista lisäarvoa osana modernia ja kestävä jätahuoltoa. Sovelluksen käyttöönotto kuitenkin edellyttäisi laajempaa testausta todellisissa käyttötilanteissa sekä selkeää vastuunjakoa järjestelmän ylläpidosta, tekoälymallien päivittämisestä ja palvelun valvonnasta.

Ratkaisun toiminta perustuu pääasiassa alkuperäispakkauksissa näkyvien merkintöjen ja visuaalisten ominaisuuksien tunnistamiseen, minkä vuoksi sen luotettavuus heikkenee tilanteissa, joissa tuotteesta puuttuvat tunnistetiedot tai pakkaus on vaurioitunut. Lisäksi tekoäly voi tehdä virheellisiä tulkintoja epäselvissä tilanteissa, minkä vuoksi järjestelmää ei voida käyttää ainoana päätöksenteon välineenä vaarallisen jätteen käsittelyssä. Keskeinen jatkokehitystarve liittyy tekoälyn tunnistustarkkuuden kehittämiseen. Tämä edellyttäisi laajempaa kuvamateriaalia, testausta todellisissa käyttötilanteissa sekä mahdollisuutta hyödyntää käyttäjiltä saatavaa palautetta järjestelmän kehittämisessä. Lisäksi järjestelmää voitaisiin tulevaisuudessa kehittää tarjoamaan paikallisia ja ajantasaisia jätahuollon ohjeita, kuten tietoa lähimmistä vastaanottopisteistä tai aluekohtaisista lajittelukäytännöistä.

Tekoälyyn ja kuvantunnistukseen tukeutuva ratkaisu voisi tarjota mahdollisuuden jätelyhtiöille parantaa turvallisuutta, tehostaa toimintaa ja tukea asiakasneuvontaa digitaalisin keinoin. Tekoälyn todellinen arvo jätahuollossa syntyy silloin, kun se tekee oikean toiminnan helpoksi sekä asiakkaalle että jätahuollon toimijoille. Tämän vuoksi kehitysehdotuksissa korostuvat erityisesti monikielisyys, saavutettavuus sekä tunnistuksen luotettavuuden parantaminen. Moni- ja selkokielisten ohjeilla ja toteutuksella tai puheohjaukseen perustuvilla ominaisuuksilla voitaisiin helpottaa palvelun käyttöä eri käyttäjäryhmille ja tukea jätahuollon asiakasneuvontaa entistä laajemmin. Tulevaisuudessa vastaavanlaiset tekoälyratkaisut voisivat toimia osana laajempia digitaalisia jätahuollon palveluita, joissa asiakas saa helposti ymmärrettävää ohjausta toimintansa tueksi jo ennen jäteasemalle saapumista.