

ТЕХНИКА: УЉЕ НА ПЛАТНУ. УТИЦАЈ РАЗЛИЧИТИХ ФАКТОРА НА ЊИХОВУ ПРОМЕНУ

TEHNIQUE: OIL ON CANVAS. THE INFLUENCE OF DIFFERENT FACTORS ON THEIR CHANGE

Аутор:

ДУЊА ПАВЕЛА

2. разред, Гимназија „Урош Предић“, Панчево, Регионални центар за таленте

„Михајло Пупин“, Панчево

Ментори:

АЛЕКСАНДРА НОВИЋЕВИЋ

професор хемије, Гимназија „Урош Предић“, Панчево

ИГОР КОДРАНОВ

Стручни сарадник, Хемијски факултет Универзитета у Београду

РЕЗИМЕ: Кроз историју видели смо доста примера промена боје слика након дужег временског периода. Истражила сам састав уљаних боја, пигмената од којих су сачињене, процес њиховог сушења и утицаје различитих фактора на промену уметничких дела. Циљ овог истраживања је да схватимо зашто долази до промена боја слика, а самим тим и превенирамо исто. Изучавала сам промене на четири уметничка дела: „Цвеће у плавој вази“ које је насликао ван Гог, пејзажима Јан ван Гојена, „Ноћној стражи“ од Рембранта и „Три доба човека“, од Тицијана. Највише промена се десило због немарности уметника у припреми платна, неодговорног чувања слике или коришћења неквалитетних медијума.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: пигменти, промена боја, уметничка дела, уљане боје, сушива уља

ABSTRACT: Throughout history, we have seen many examples of color changes in the paintings over a long period of time. I investigated the composition of oil paints, pigments from which they are made, the drying process and the influence of various on the change of artworks. The aim of this research is to understand why there are changes in the color of the paintings, and therefore prevent the same. I studied changes in five artworks: „Flowers in a Blue Vase“ painted by van Gogh, landscapes by Jan van Goyen, "Night Watch" by Rembrandt and "The Three ages of a man", by Titian. Most of the changes happened due to the carelessness of the artist in the preparation of the canvas, irresponsible storage of the painting, or the use of the low-quality media.

KEYWORDS: pigments, color change, artworks, oil paints, dried oils

УВОД

У уметности можемо запазити доста случајева слика које су временом оксидовале и промениле своју оригиналну боју. Примере оваквих дела можемо видети код сликара Винсента ван Гога, Рембранта, Хамерсона ван Рајна, Ендија Ворхола, који је и сам вршио експерименте на својим делима и других.

Техника уље на платну је најпознатија и највише коришћена техника у уметности током историје. Ова метода користи уљане боје као главно средство за рад. Уљане боје настају мешањем одређених пигмената са везивом за боје, односно сушивим или полусушивим уљима. Сушива уља су ланено, орахово и маково уље, док су полусушива памучно, сојино и сунцокретово уље. [2,4] По хемијском саставу уља су смеше триглицерида, док су триглицериди естри глицерола са дуголанчаним масним киселинама. Ова везивна уља су веома важна за својства уљаних боја. Она суспендују честице пигмената, утичу на конзистенцију боје, спајају пигменте и друге адитиве а доприносе и отпорности слике током времена.

Она имају способност да се суше и формирају полупропустљиви филм, захваљујући присуству барем 66% незасићених масних киселина (линолна, линолеинска и олеинска). Како би сушиво уље било валидно за употребу, мора да се изврши рафинација. Она подразумева пречишћавање уља, односно елиминисање или максимално смањивање свих састојака који би могли лоше утицати на уља или њихов процес сушења. Могу се користити три поступка рафинације уља, од којих зависе особине и квалитет сушивог уља:

1. Хладно цеђења уља- поступак се одвија лаганим загревањем уља, које се затим оставља да одстоји, како би се слузав материјал исталожио. Овај поступак је најквалитетнији.
2. Уља загрејана у присуству кисеоника- поступак се одвија згушњавањем уља удувањем ваздуха у њега, односно оксидацијом. Настаје тежак уљани медијум.
3. Уља која се загревају у одсуству кисеоника- поступак се одвија загревањем на 300°C у анаеробним (безкисеоничним) условима. Поменути процес резултује да уље добије гушћу конзистенцију.

Након наношења танког филма уљане боје, уље почиње да апсорбује атмосферски кисеоник. Процес сушења подразумева полимеризацију која се одвија под дејством кисеоника из ваздуха и топлоте. Полимеризација је последица ланчане реакције и започиње издвајањем водоника, при чему настаје радикал незасићене масне киселине- који је нестабилан и реагује са кисеоником из ваздуха. Затим настаје нови пероксидни радикал- који издваја водоник из суседног молекула незасићене масне киселине и тиме се ланчана реакција наставља. Радикали се међусобно комбинују формирајући једињења велике молекулске масе. Након што је филм био изложен пар дана ваздуху и започео ланчани процес, може се приметити пораст вискозитета и индекса преламања филма.

У даљем току сушења долази до фрагментације ових великих молекула и настаје ди карбоксилна киселина са девет угљеникових атома, а као нуз продукт настају алдехиди, кетони и алкохоли, који испаравају и можемо их детектовати по карактеристичном оштром мирису. Филм од еластичног постаје крт како процес сушења напредује. Брзина сушења се временом смањује јер површински слојеви стварају баријеру за кисеоник. Атоми метала попут кобалта, мангана, олова, гвожђа и бакра убрзавају процес полимеризације захваљујући особини да у једињењима могу имати различите оксидационе бројеве. Они могу примити електрон и тиме убрзати ланчану реакцију, па

се додају бојама као сушачи. Бојама се додају: дисперзионим агенсима да би пигментне честице биле равномерно распоређене у уљу (алуминијум стеарат, растворан у уљу- који формирају колоидну гел текстуру) и стабилизатор (хидрогенизовано рицинусово уље- који обезбеђује меку конзистенцију и продужава рок употребе). Количина адитива у уљаним бојама је испод 2% [21]

Везива повезују и изолују честице пигмената, па их тако и штите од утицаја спољашње средине. [2, 4]

Историја уљаних боја

Најстарије сачуване слике у уљу су будистички мурални сликарства, настали у Авганистану, а датирају из седмог века. Научници сматрају да су уметници из Азије користили уљане боје због префињености и м.лика. Европљани су ову технику развили из раног холандског сликарства у северној Европи и наставили су да је усавршавају, тако да је током уметничког правца ренесансе скоро у потпуности заменила дотадашњу употребу водених боја. Први писани извор који нам потврђује коришћење уљаних боја, коју је написао Теофил, је дисертација о разним уметностима. У њој наводи технике и начин коришћења уљаних боја.

Јан ван Ајк је усавршио новоразвијену технику. Ренесансни сликари чекали су да се сваки слој боје осуши, док је ван Ајк користио технику „мокро на мокро“ чиме је убрзао цео процес, који је на крају резултирао сликом која нема видљиве потезе четкица. [3, 6]

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДА РАДА

Пигменти

Пигменти су прашкасте честице које помешане са растварачима, (као што су уља) дају боју другим материјалима. Њихова величина износи од 0,1 μm до 1 μm . Нерастворљивост пигмената се постиже избегавањем растворљивих група у молекулима или стварањем нерастворљивих структура. Пигменти могу бити хроматски (обојени) и нехроматски (бели, црни или сиви). Њихова боја ће зависити од количине светлости које могу да рефлектују, односно апсорбују. Бели пигменти рефлектују таласне дужине свих светлости, док их црни апсорбују. [5] Боје, тј. Пигменти који се највише користе у сликарству су титанијум бела, прашкаста плава, окер жута, кадмијум жута, спаљена сијена, прегорео умбер и ултрамарин плава. [1]

Титанијум-диоксид (TiO_2) је пигмент који гради титанијум белу боју. Поред тога што даје белину боји, има и добру покривну моћ. Користи се неколико процеса како би се добио пигмент:

1. Сулфатни процес- руда богата титанијумом реагује са сумпорном киселином. У неколико корака се добија рутил или анатаз-титанијум-диоксид (TiO_2).
2. Хлоридни процес- материјал богат титанијумом се прочишћава помоћу гасовитог хлора (Cl_2), стварајући титанијум-тертахлорид (TiCl_4). Затим се врши оксидација и настаје чист рутил TiO_2 . Хлоридним процесом се не може добити анатаз TiO_2 .

Анатаз и Рутил су кристалне структуре титанијум-диоксида. Оне се највише користе у сликарству, тј. За прављење пигмената. Титанијум-диоксид се користи у свим техникама у сликарству због своје стабилности (не реагује са уљем). Спада у спорије сушиоце. [7, 5]

Цинков-оксид (ZnO) је као сликарски пигмент уведен у првој половини 19. века. Нерастворан је у води и органским растварачима, па се користи у скоро свим сликарским техникама. Производи се, такозваним индиректним процесом: метал се прво преводи у пару, а потом оксидује. Као резултат добија се чист, бео и квалитетан пигмент. [5]

Оловно бело је заправо олово(II)-хидроксид-карбонат ($(\text{PbOH})_2\text{CO}_3$). Оно на ваздуху тамни због сумпорводоника, услед чега се награђује олово(II)-сулфид. Може се произвести на више начина:

1. Старим, холандским, поступком: олово се стављало у земљане посуде са разблаженом сирћетном киселином. Оне су се потом пуниле трулим отпацама, што је доводило до деградације, отпуштања топлоте и угљен-диоксида. Приликом испаравања, формирао се олово(II)-ацетат, који је реаговао са угљен-диоксидом, формирајући бели оловни(II)-карбонат.
2. Други начин добијања пигмента подразумева коришћење изузетно чистог олово(II)-оксида, који се затим разблажи водом. У смешу се потом додаје сирћетна киселина и снажно се меша, како би се унео угљен-диоксид. Настаје талог, олово(II)-хидроксид-карбонат, који се суши и меље.

Оловно бело је слабије покривне моћи од титанијумове беле, али јаче од цинковог белила. Покривна моћ зависи од густине пигмента. Овај пигмент се данас готово и не производи јер је отрован. [5]

Постоји неколико врста природних оксидних пигмената гвожђа, као што је гвоздено црвенило. Он има висок удео Fe_2O_3 . У зависности од концентрације хематита боја се може мењати од пригушено црвене до црвено-љубичасте. Неотрован је, али има средње покривну моћ.

Окер је пигмент чија боја варира од светложутих до црвено-смеђих нијанси. Састоји се од каолина који је обојен различитим уделом минерала гетита $\text{FeO}(\text{OH})$, а такође садржи и једињења мангана и калцијума. У зависности од количине гвожђа и мангана, окер ће мењати нијансу - повећањем њиховог удела, боја ће добити више браон тонова. Загревањем окер мења своју боју. Она постаје тамнија, интензивнија и добија већу покривну моћ. Користи се у свим сликарским техникама. [9, 8, 5]



СЛИКА 1- пигменти, редом слева надесно: титанијум бела, цинк бела, олово бела, гвоздено црвенило, окер и кобалтно зелена

PICTURE 1- pigments, from left to right: titanium white, zinc white, lead white, iron red, ocher and cobalt green

Сирова сијена и сиров умбер су пигменти на бази хидратизованог оксида гвожђа, гетита. Калцинацијом (паљењем или печењем) сирове сијене и умбера долази до испаривања воде, што резултује настанак хематита (Fe_2O_3), односно сагореле сијене и сагорелог умбера. Испаравање воде из сирових пигмената објашњава тамнију, топлију и црвенију боју спаљених пигмената. Разлика између пигмената сијене и умбера јесте боја. Сијена садржи високу концентрацију гетита, који јој даје жуту боју, а умбер додатно садржи и манган-диоксид (MnO_2), од којег добија смеђе, тамносмеђе и црне нијансе. Она је тамнија од окера и сијене. [5]

Кадмијум жута је боја настала од кадмијумовог пигмента (кадмијум-сулфида CdS са примесима кадмијум-селенида CdSe). Кадмијумови пигменти варирају од жуте до црвене боје. Присуство цинка жутој боји даје зеленкаст тон. Повећањем удела селена пигмент ће постати тамнији и црвенији. Одлика овог пигмента јесте добра покривна моћ, отпорност на светлост, различите временске услове, високе температуре (до 900°C). Неотпоран је на киселине. При коришћењу некавалитетних боја, може доћи до његове деградације и блеђења. [10, 11, 5]

Хромов жута је по саставу чврст раствор олово(II)-хромата и олово(II)-сулфата. У зависности од удела ових компоненти боја пигмента може варирати од жуте до тамно наранџасте. Има слабу отпорност на светлост, а то изазива његову промену боје у смеђе-зелену. Такође је неотпоран према сумпор-диоксиду и отрован. Његова добра страна је да има добру покривну моћ, чист тон и да је јефтин, па се доста користи у производњи уљаних боја. [5]

Кобалтно зелени пигмент је новијег датума. Добија се загревањем смеше кобалтовог и цинковог оксида. У односу на хромов оксид има чистији тон али са примесом плаве боје. Неотрован је и отпоран на базе и слабе киселине. [5]

Паришко плава је по саставу сложено једињење. Добија се реакцијом соли гвожђа са сложеним цијанидима гвожђа, а потом и оксидацијом, са на пример калијум-хлоратом. То је први синтетички пигмент. Због пожућивања уља, на слици се може јавити као зеленкаста нијанса. [5]

Ултрамарин плава је пигмент настао од лапис лазулија, који је мешавина минерала лазурита, силиката и пирита. Након ископавања, минерал је млевен и помешан са смолом, ланеним уљем или воском, а потом је загреван како би се формирала смеша налик на тесто. Смеса је стављена у раствор базе, а то доводи до издвајања пигмента у виду талога, који се после суши и добија се фини пигмент у праху. Процес се понавља неколико пута и због тога се добија релативно мала количина праха у односу на почетне сировине. Пигмент је био изузетно скуп, док није почео синтетички да се производи. Жан-Батист Гиме је први направио овакав пигмент од глине, соде, дрвеног угља, кварца и сумпора. Ова смеша се затим загревала, како би настао зелени ултрамарин, који се потом испирао и додатно загревао како би настао плави ултрамарин пигмент. Природни и синтетички пигменти су по хемијском саставу били идентични. [23]



СЛИКА 2- пигменти, редом слева надесно: сирова сијена, сиров умбер, сагорела сијена, сагорео умбер, кадмијум жута, хромова жута, паришко плава и ултрамарин

PICTURE 2- pigments, from left to right: raw sienna, raw umber, burnt sienna, burnt umber, cadmium yellow, chrome yellow, Parisian blue and ultramarine

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Промена боја слика

Промену боје током времена можемо уочити на мноштву слика. Фактори, као што су светлост, заштитни лак, транспарентност утичу на трансформацију уметничких дела.

Светлост може да изазове модификацију боја као последицу хемијских промена градивних материјала. Апсорпција светлости, пре свега, даје пигментима боју али и ствара молекуле са вишком енергије, који се могу распршити путем деградације. Процеси фото деградације изазивају дуготрајне, кумулативне и неповратне промене боја, односно блеђење или затамњење.

Заштитни слој лака такође може изазвати промене. Током времена долази до његовог тамњења. Лак током времена може постати браон боје и тиме дати и осталим бојама тамнији тон. У овом случају, слика је лако поправљива - врши се пажљиво скидање заштитног слоја и ставља се нов. Лак и боја могу да изреагују. У том случају, боје не могу да се врате у оригинално стање скидањем слоја лака, јер би се тако уништило и ремек-дело.

Ако се не изврши правилна и темељна припрема платна, боје временом могу да постану транспарентне и тиме откривају доње слојеве слика, који су по правилу тамнији због чега ће слика попримити тамније тонове. Највише оваквих примера запажено је у филмовима који садрже олово-белу. Касније је утврђено да се степен провидности повећава

растварањем пигмената који реагују са масним киселинама у уљаним бојама (као што су оловно и цинково бело).

првобитна боја	боја након промене	разлог промене боје
паришко плава	зелена	жућење уља
хромова жута	смеђе-зелена	изложеност светлости
кадмијум жута	бледо-жута	неквалитетност боје
оловно бела	црна	награђивање PbS
органска црвена	бледо-црвена	изложеност светлости
смалта	губитак	испаривање K из стакла
вердигрис	тамнобраон	интеракција са ланеним уљем

ТАБЕЛА 1-Промене боје пигмената и узроци ове појаве

TABLE 1-Color change of the pigments and the causes of this phenomenon

Слика ван Гога „Цвеће у плавој вази“ из 1887. подлегла је промени боја: жути цветови, постали су наранџасто-сиви. Прво се сматрало да је заштитни лак изазвао тамњење, али када су конзерватори слика покушали да га уклоне, крхка кора боје се подигла заједно са њим. Рендгенском анализом утврђено је да се ради о једињењу олово(II)-сулфата (PbSO_4), уместо очекиваног кадмијум-сулфата (CdSO_4). Научници су закључили да је дошло до хемијске реакције између кадмијум жуте боје и лака. Слика је била изложена вештачком и УВ светлу, а то је довело до фотооксидације и ослобађања сулфатних и кадмијумових јона у боји. Сулфатни јони су реаговали са оловним јонима из лака, који је садржао средство за сушење на бази олова, због чега је настао олово-сулфат. Кадмијумови јони створили су слој кадмијум оксалата. Наранџасто-сиви филм преко неких жутих ван Гогових цветова је комбинација ова два једињења. Кадмијум жута уведена је у сликарство у време Винсентовог стваралаштва, што може објаснити лош квалитет боје, односно зашто је дошло до њене деградације. Такође треба напоменути да су дела из овог периода била неприкладно лакирана, односно неадекватно заштићена и тиме се додатно излагала ризику промена боја. [13, 14]



оригинална боја слике



боја слике након промене

СЛИКА 3- промена боје слике „Цвеће у плавој вази“

PICTURE 3- color change in the painting „Flowers in a blue vase“

Уметници из 16. века постали су , у односу на сликаре 15. века, немарни у припремању платна и самој техници. Из тог разлога доста промена запажамо у поменутом периоду. Најизраженије промене видимо у пејзажима Јана ван Гојена. Он је сликао на подлози од танког храстовог дрвета, које је потом премазивао са неколико слојева животињског колагенског лепка. Затим би нанео танак слој олово-беле, како би исправио сва несавршенства на панелу. Тек тада би почео да наноси први слој боје, а то је углавном била светлосмеђа или окер. Припрема коју је ван Гојен вршио била је врло танка, тако да је временом филм боја постајао све транспарентнији и тиме откривао боју и текстуру дрвета на ком је сликао. [18]



СЛИКА 4- „Пејзаж дина“, Јан ван Гојен

PICTURE 4- „Dune landscape“ Jan van Goyen

Рембрантова „Ноћна стража“ је вероватно најпознатији пример промене боја на слици. Уметникова замисао јесте била да дело приказује стражу по дану, а касније је откривено зашто је дошло до ове драстичне промене. Иако данас слика има углавном браон и тамне тонове, верује се да је Рембрант на неким сада изузетно тамним деловима заправо користио смалтин пигмент. Да би добио жељену тамно црвенкасто-љубичасту боју смалти (била је заступљена око 60-70%) је додао органску црвену, оловно белу и коштану црну боју. Ови пигменти се данас не користе.

1. Смалта је тамноплави пигмент. Добијала се топљењем кобалт (II)-оксида(CoO) са кварцним песком (SiO_2) и калијум-карбонатом (K_2CO_3) или додавањем у растопљено стакло, а потом у хладну воду. Затим се уситњава и испира. Сматра се да је на овој слици дошло до обезбојавања смалте због испирања калијума из стакла. Потом обезбојена смалта у смеши са непрерађеним ланеним уљем (са њим су се мешали пигменти при производњи уљане боје) даје смеђу боју.
2. органска црвена променила је боју јер је била непостојана и избледела је због изложености светлости.
3. Оловно бело је постало транспарентно због сапонификације пошто су се пигменти мешали са непрерађеним ланеним уљем.
4. Једино је црна боја остала непромењена. [17, 19, 20]



СЛИКА 5- „Ноћна стража“, Рембрант

PICTURE 5-“The Night Watch”, Rembrandt

Чест пример промене боје можемо запазити на сликама где се користила вердигрис зелена боја. То је заправо бакар(II)-ацетат. Базни вердигрис се припрема довођењем бакра у контакт са паром сирћетне киселине, воденом паром и ваздухом; неутрални пигмент добија се растварањем базног пигмента у сирћетној киселини. Доста се користио у 15. и 16. веку, али открићем нових, стабилнијих зелених пигмената престаје његова употреба. Неотпоран је на светлост и ступа у интеракцију са неким пигментима. Када се меша са ултрамарином, због присуства сумпора потамни. На Тицијановој слици „Три доба човека“, трава и остале зелене површине, које су требале да представљају младост, добиле су смеђу, тамнију нијансу. До промене је најпре дошло јер је боја ступила у интеракцију са ланеним уљем, које се користило као везиво. При мешању пигмента са уљем долази до редукције Cu^{+2} у Cu^{+1} . Реакција се, током дужег временског периода,

наставља у присуству светлости и настају перокси-Su димерни комплекси, који су одговорни за промену боје. [24,25, 26]



Пре чишћења заштитног лака

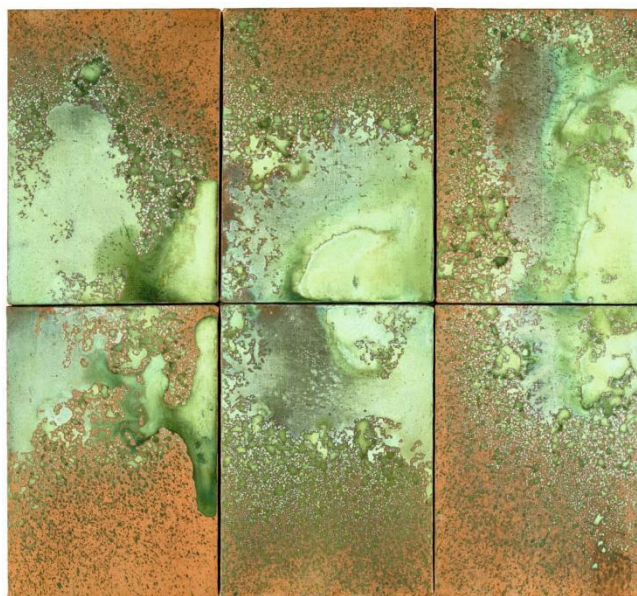
СЛИКА 6- промена боје слике „Три доба човека“, Тицијан



Након чишћења заштитног лака

PICTURE 6- color change in the painting "The three ages of a man", Titian

Осим на традиционалној техници уље на платну, промену боја можемо видети и на другим медијумима. Енди Ворхол је стварао несвакидашњу уметност. Он је платно премазао бакарном бојом и док је још била мокра, позвао је своје пријатеље и познанике да уринирају по њој. Мокраћна киселина је оксидовала са бакром, уклањајући компоненте чистог метала, због чега су се формирале минералне соли. Боје које су се појавиле на сликама биле су плава, зелена, црвена, смеђа и бела. Ворхол је такође приметио да се боје мењају са променом човекове исхране. [15, 16]



СЛИКА 7- „Оксидације“, Енди Ворхол

PICTURE 7- „Oxidations“, Andy Warhol

ЗАКЉУЧАК

Промена боја слика се не може у потпуности спречити, али добром негом се може знатно успорити тај процес. Добра нега уметничких дела подразумева правилно складиштење, односно чување ван директне сунчеве светлости, са умереном температуром и влажношћу. У супротном, може доћи до неповратне промене боје слике. Такође, важно је познавање хемијског састава и структура пигмената, како би се могле претпоставити промене. Последица трансформације ремек-дела може бити немогућност уметника да пренесе своју поруку публици.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://slikarskatehnologija.wordpress.com/category/1-tehnike/f-ulje/>
2. <https://slikarskatehnologija.wordpress.com/2014/04/14/ulja/>
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_painting
4. A. Lukuć „*Slikarstvo kao umjetnički proces*”
5. A. Mujkanović, M. Jovanović „*Pigmenti i punila*”
6. <https://skriblbox.com/what-research-says-about-oil-paint/>
7. J. Beetsma, „*Titanium Dioxide Pigment for Paints & Coatings - Complete Guide*”
8. J. Greenleaf „*What Is Ochre?: Earth Pigments Explained*”
9. <https://www.royaltalens.com/en/inspiration/tips-techniques/colour-stories/ochre-an-ancient-pigment/>
10. <https://www.webexhibits.org/pigments/indiv/overview/cdyellowred.html>
11. W. G. Huckle, G. F. Swigert, S. E. Wiberley „*Cadmium Pigments. Structure and Composition*”
12. Dr. C. Miliani, Dr. L. Monico, Prof. M. J. Melo, Dr. S. Fantacci, Dr. E. M. Angelin, Prof. A. Romani, Prof. K. Janssens „*Photochemistry of Artists' Dyes and Pigments: Towards Better Understanding and Prevention of Colour Change in Works of Art*”
13. M. Gambino, Smithsonian magazine „*In a van Gogh painting the flowers are changing color*”
14. J. Bryner „*Cause of puzzling color change in Van Gogh painting found*”
15. <https://www.warhol.org/lessons/oxidations-and-abstraction/>
16. <https://revolverwarholgallery.com/portfolio/oxidation-paintings/>
17. S. Kuta, Smithsonian magazine „*Lead Base Layer Discovered in Rembrandt's 'The Night Watch'*”
18. G. O'Hanlon „*The Influence Of Grounds On Painting Preservation*”
19. G. Osmond „*From purple to brown: Using degradation products in reconstructions of a complex smalt paint mixture in The Night Watch to study color change Annelies van Loon*”
20. Dr. W. Schaller „*Rembrandt, The Night Watch*”
21. F. C. Izzo „*20th Century Artists' Oil Paints: A Chemical-physical Survey*”
22. M. Cartwright, World History Encyclopedia „*Jan van Eyck*”, 16. Oktobar 2020.
23. <https://www.winsornewton.com/uk/articles/colours/spotlight-on-ultramarine/>
24. J. M. Scott „*Making Verdigris pigment and Copper Resinate (A Comedy of Errors)*”
25. <https://colourlex.com/project/verdigris/>
26. C. Santoro, K. Zarkout, A. Le Ho, F. Mirambet, D. Gourier, L. Binet, S. Pages-Camagna, S. Reguer, S. Mirabaud, Y. Le Du, P. Griesmar, N. Lubin-Germain, M. Menu „*New highlights on degradation process of verdigris from easel paintings*”