GIDROLIZLASHDAN OLINGAN TEMIR (II)-GIDROKSIDI CHO‘KMASIDAN GEMATIT OLISH JARAYONINING TERMODINAMIKASI VA KINETIKASI

Askarova Nilufar Musurmanovna
Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali. PhD, dotsent
Olmaliq sh., O‘zbekiston.
E-mail: askarovanilufar435@gmail.com
Boltayev Olmos Najmiddinovich
Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali. PhD, dotsent
Olmaliq sh., O‘zbekiston.
E-mail: boss.olmos@mail.ru
Hojiyev Shohruh Toshpo‘latovich
Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali. PhD, dotsent
Olmaliq sh., O‘zbekiston.
E-mail: shohruhhojiyev@gmail.com
Axmedova Nigora Erkin qizi
Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali. katta o‘qituvchi
Olmaliq sh., O‘zbekiston.
E-mail: nigora07051991@gmail.com

Annotasiya. Ushbu maqolada gidrolizlash jarayonidan olingan temir(II)-gidroksid cho‘kmasidan gematit (α-Fe_2O_3) olish jarayonining termodinamik va kinetik xususiyatlari tahlil qilindi. Tadqiqotda $Fe(OH)_2$ ning havo ishtirokida qizdirilishi natijasida bosqichma-bosqich oksidlanish va dehidroksillanish reaksiyalari yuz berishi ko‘rsatildi. Jarayonning dastlabki bosqichida FeOOH (goetit) hosil bo‘lib, 250–350 °C oralig‘ida to‘liq dehidroksillanish orqali gematit shakllandi. Gibbs erkin energiyasi (ΔG) va muvozanat konstantasi (K_m) qiymatlarining haroratga bog‘liq o‘zgarishi hisoblandi. Olingan natijalarga ko‘ra, harorat oshishi bilan ΔG ning manfiy qiymati ortib, jarayonning o‘z-o‘zidan borishi ta’minlandi. Ayniqsa, 700–750°C diapazonda ΔG eng katta manfiy qiymatlarga yetib, yuqori fazaviy sof Fe_2O_3 hosil bo‘lishi kuzatildi. Kinetik nuqtai nazardan, reaksiyaning tezligi diffuziya bilan cheklangan bo‘lib, zarracha o‘lchami, kislorod oqimi va qizdirish davomiyligi muhim omillar sifatida belgilandi. Tadqiqot natijalari gematit asosida yuqori sifatli qizil temir oksid pigmenti olish jarayonini ilmiy asosda optimallashtirish imkonini berdi.

Kalit so‘zlar: temir(II)-gidroksid, gematit, temir oksidli pigment, oksidlanish, dehidroksillanish, Gibbs erkin energiyasi, muvozanat konstantasi, kinetika, termodinamika, diffuziya, fazaviy sof Fe_2O_3.

ISSN 3030-3907

Аннотация. В данной статье проанализированы термодинамические и кинетические характеристики процесса получения гематита (α-Fe_2O_3) из осадка гидроксида железа (II), полученного в процессе гидролиза. Исследование показало, что при нагревании $Fe(OH)_2$ в присутствии воздуха происходят поэтапные реакции окисления и дегидроксилирования. На начальной стадии процесса образуется FeOOH (гетит), а в диапазоне 250-350°C при полном дегидроксилировании формируется гематит. Рассчитаны изменения значений свободной энергии Гиббса (ΔG) и константы равновесия (Km) в зависимости от температуры. Согласно полученным результатам, с повышением температуры отрицательное значение ΔG увеличивается, обеспечивая самопроизвольное протекание процесса. Особенно в диапазоне 700-750°C ΔG достигает наибольших отрицательных значений, и наблюдается образование высокофазового чистого Fe_2O_3. С кинетической точки зрения скорость реакции ограничена диффузией, а размер частиц, поток кислорода и продолжительность нагрева определены как важные факторы. Результаты исследования позволили научно обосновать оптимизацию процесса получения высококачественного красного пигмента оксида железа на основе гематита.

Ключевые слова: гидроксид железа(II), гематит, оксид железа пигмент, окисление, дегидроксилирование, свободная энергия Гиббса, константа равновесия, кинетика, термодинамика, диффузия, фазово-чистый Fe_2O_3.

Abstract. This article analyzes the thermodynamic and kinetic characteristics of the process of obtaining hematite (α-Fe_2O_3) from iron (II) hydroxide precipitate produced during hydrolysis. The study revealed that when $Fe(OH)_2$ is heated in the presence of air, stepwise oxidation and dehydroxylation reactions occur. At the initial stage of the process, FeOOH (goethite) is formed, and in the temperature range of 250-350°C, complete dehydroxylation leads to the formation of hematite. Changes in Gibbs free energy (ΔG) and equilibrium constant (Km) values were calculated as a function of temperature. According to the results obtained, as temperature increases, the negative value of ΔG becomes more pronounced, ensuring the spontaneous progression of the process. Particularly in the range of 700-750°C, ΔG reaches its most negative values, and the formation of high-purity Fe_2O_3 is observed. From a kinetic perspective, the reaction rate is limited by diffusion, with particle size, oxygen flow, and heating duration identified as crucial factors. The research findings provided a scientific basis for optimizing the process of obtaining high-quality red iron oxide pigment based on hematite.

ISSN 3030-3907

Keywords: iron(II) hydroxide, hematite, iron oxide pigment, oxidation, dehydroxylation, Gibbs free energy, equilibrium constant, kinetics, thermodynamics, diffusion, phase-pure Fe_2O_3.

Kirish

Temir oksidli pigmentlar, xususan, gematit (α-Fe_2O_3) sanoatning turli sohalarida keng qo‘llanilishi bilan ajralib turadi. Ular qurilish materiallari, bo‘yoq-sanoat, keramika, shisha ishlab chiqarish va metallurgiya texnologiyalarida muhim ahamiyatga ega bo‘lib, yorqin rang berish xossasi, yuqori termal va kimyoviy barqarorligi bilan muhim ahamiyatga ega. Shu sababli, pigment sifatida gematit olish jarayonlarini chuqur o‘rganish ilmiy va amaliy nuqtai nazardan dolzarb masala hisoblanadi.

Hozirgi kunda gematit olishning turli usullari ishlab chiqilgan bo‘lsada, gidrolizlash jarayonidan olingan temir(II)-gidroksid cho‘kmasidan gematit sintez qilish samarali yo‘llardan biri sifatida e’tirof etiladi. Ushbu usulning afzalligi shundaki, $Fe(OH)_2$ oddiy sharoitlarda nisbatan oson hosil bo‘lib, havoda qizdirilganda bosqichma-bosqich oksidlanish va dehidroksillanish orqali yuqori sifatli α-Fe_2O_3 ni beradi. Mazkur tadqiqotning maqsadi temir(II)-gidroksid cho‘kmasidan gematit olish jarayonining termodinamik va kinetik xususiyatlarini o‘rganish, Gibbs erkin energiyasining haroratga bog‘liq o‘zgarishini hamda muvozanat konstantasi va kinetik omillarning jarayon samaradorligiga ta’sirini tahlil qilishdan iboratdir.

Asosiy qism. Gidrolizlashdan olingan $Fe(OH)_2$ — qizil temir oksid pigmenti olishda asosiy boshlang‘ich mahsulot hisoblanadi. Uning havo ishtirokida qizdirilishi natijasida bosqichma-bosqich oksidlanish va dehidroksillanish sodir bo‘ladi. Jarayonning dastlabki bosqichida $Fe(OH)_2 \rightarrow FeOOH$ (goetit) aylanishi yuz beradi, keyinchalik esa 250–350 °C harorat oralig‘ida to‘liq dehidroksillanish orqali Fe_2O_3 hosil bo‘ladi. Ushbu termal o‘zgarishlar termodinamik jihatdan qulay bo‘lib, reaksiya issiqligi va entropiya ortishi hisobiga ΔG qiymati manfiyga o‘tadi va jarayonning o‘z-o‘zidan borishini ta’minlaydi.

$$4Fe(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 4H_2O \quad (1)$$

Kinetik nuqtai nazardan, $Fe(OH)_2$ ni gematitga aylantirish jarayoni diffuziya bilan cheklangan reaksiya bo‘lib, kislorodning zarracha ichkarisiga o‘tishi muhim rol o‘ynaydi. Reaksiya tezligi, asosan, zarracha o‘lchami, havoning oqim tezligi va qizdirish davomiyligiga bog‘liq. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, optimal sharoitlarda to‘liq oksidlanish yuz beradi va yuqori fazaviy sof Fe_2O_3 hosil bo‘ladi. Ushbu pigment o‘zining yorqin qizil rangi, yuqori dispersligi va barqarorligi bilan sanoat talablariga javob beradi.

ISSN 3030-3907

Gematit (Fe_2O_3) hosil bo‘lish reaksiyasi samaradorligini baholashda termodinamik parametrlar asosiy ahamiyatga ega hisoblanadi. Jumladan, Gibbs erkin energiyasining (ΔG) haroratga nisbatan o‘zgarishini tahlil qilish orqali jarayonning o‘z-o‘zidan borish imkoniyati aniqlandi. Quyidagi 1-jadvalda temir(II)-gidroksid ($Fe(OH)_2$) cho‘kmasining havo ishtirokida oksidlanib, gematit shakllanishi jarayoniga tegishli bo‘lgan ΔG va muvozanat konstantasi (K_m) qiymatlari turli haroratlarda hisoblangan. Bu ma’lumotlar asosida jarayonning qaysi haroratda termodinamik jihatdan qulayroq bo‘lishi aniqlandi.

1-jadval

Gidrolizlashdan olingan temir(II)-gidroksidi cho‘kmasidan gematit (Fe_2O_3) hosil bo‘lish jarayonining haroratga bog‘liq holda Gibbs energiyasi va muvozanat konstantasining o‘zgarishi

№	Harorat		Gibbs energiyasi, kJ/mol	Muvozanat konstantasi
	T, K	T, °C	G	K_M
1	298	25	-494,816	1,221
2	323	50	-505,012	1,207
3	348	75	-515,208	1,195
4	373	100	-525,404	1,185
5	398	125	-535,600	1,176
6	423	150	-545,796	1,168
7	448	175	-555,992	1,161
8	473	200	-566,188	1,155
9	498	225	-576,384	1,149
10	523	250	-586,580	1,144
11	548	275	-596,776	1,140
12	573	300	-606,972	1,136
13	598	325	-617,168	1,132
14	623	350	-627,364	1,129
15	648	375	-637,560	1,126
16	673	400	-647,756	1,123
17	698	425	-657,952	1,120
18	723	450	-668,148	1,118
19	748	475	-678,344	1,115
20	773	500	-688,540	1,113
21	798	525	-698,736	1,111
22	823	550	-708,932	1,109
23	848	575	-719,128	1,107

ISSN 3030-3907

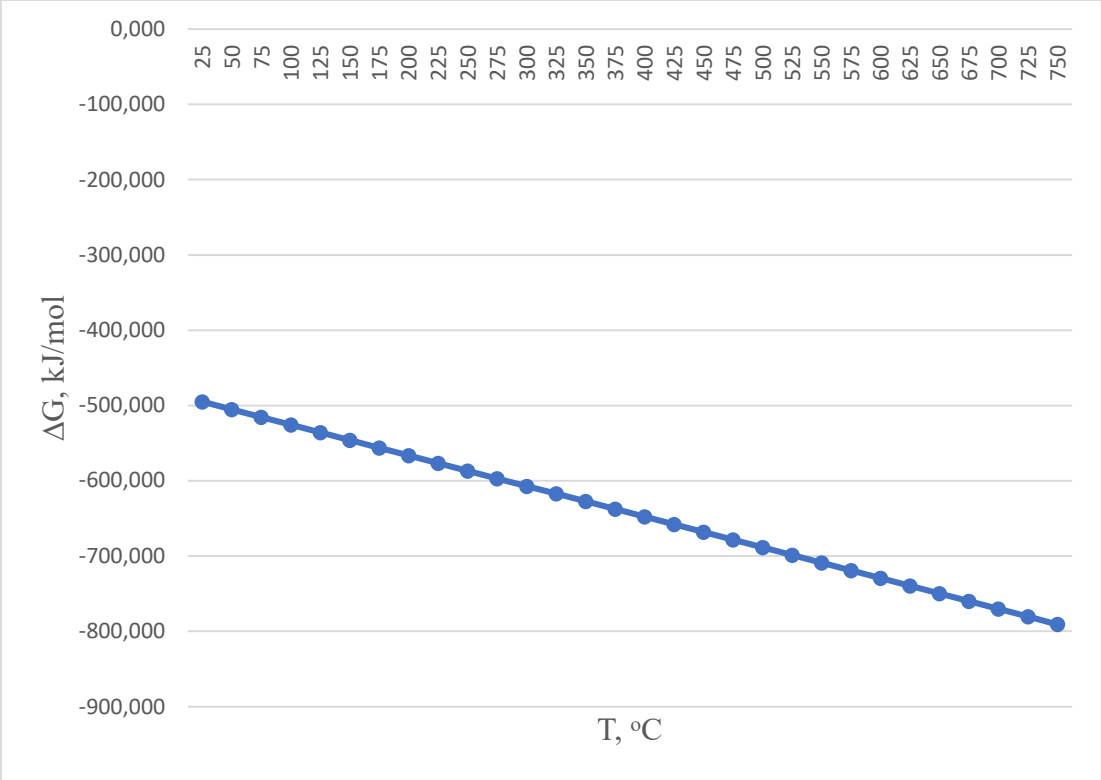
24	873	600	-729,324	1,106
25	898	625	-739,520	1,104
26	923	650	-749,716	1,103
27	948	675	-759,912	1,101
28	973	700	-770,108	1,100
29	998	725	-780,304	1,099
30	1023	750	-790,500	1,097

Ma’lumotlar tahlil qilinganda, temir(II)-gidroksid cho‘kmasidan gematit (α-Fe_2O_3) hosil bo‘lish jarayoni harorat oshgan sari termodinamik jihatdan yanada qulayroq kechishi aniqlandi. Ayniqsa, 700–750 °C oralig‘ida ΔG qiymatlari eng katta manfiy qiymatlarga (−770…−790 kJ/mol) yetadi, bu esa reaksiya barqarorligini yuqori darajada ta’minlaydi. Bunday haroratda gematit kristallarining to‘liq shakllanishi, fazaviy sof holati va bo‘yoq sifatidagi pigment xossalari yuqori darajada namoyon bo‘ldi. Shu bois,

Fe_2O_3 pigmentini olishda 700–750 °C harorat optimal hisoblandi va bu ilmiy jihatdan asosli va sanoat amaliyotida qo‘llanishga yaroqlidir.

Reaksiyaning haroratga bog‘liq termodinamik xususiyatlarini tahlil qilish 1-rasmda ifodalangan. Unda temir(II)-gidroksid asosidagi birikmaning oksidlanishi jarayonida kuzatilgan energetik o‘zgarishlar dinamik tarzda tasvirlangan. Ayniqsa, ΔG ning pasayish tendensiyasi va muvozanat konstantasining harorat bilan bog‘liq harakati reaksiya sharoitlarini baholashda muhim ahamiyat kasb etdi. Grafik asosida optimal harorat intervali nafaqat nazariy, balki texnologik nuqtai nazardan ham aniqlashtirildi.

ISSN 3030-3907

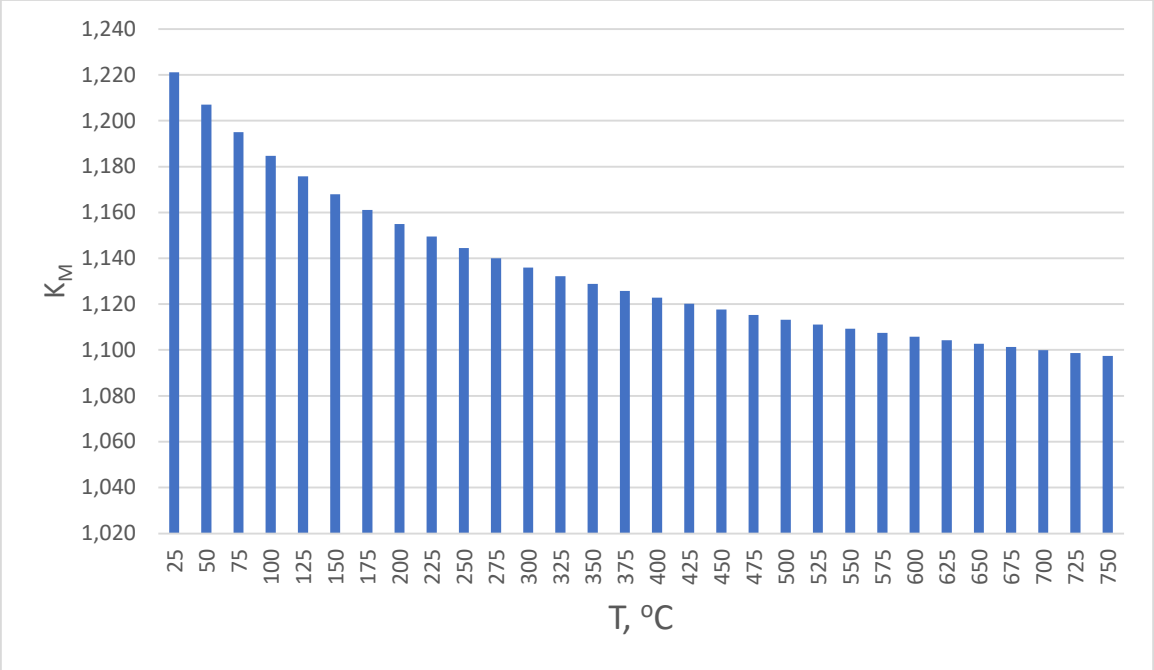


1-rasm. Temir (II)-gidroksid cho‘kmasidan gematit (α-Fe_2O_3) olish jarayonining haroratga bog‘liq termodinamik grafigi: Gibbs erkin energiyasi va muvozanat konstantasining o‘zgarishi

1-rasm tahlili shuni ko‘rsatdiki, harorat ortgani sayin reaksiyaning erkin energiyasi izchil kamayadi va bu, o‘z navbatida, jarayonning borish ehtimolini oshirdi. 700–750 °C oralig‘ida ΔG ning eng past (ya’ni eng manfiy) qiymatga yetishi, gematit shakllanishi uchun eng qulay sharoit aynan shu intervalda bo‘lishini ko‘rsatmoqda. Shu bilan birga, muvozanat konstantasining oz miqdordagi kamayishi reaksiyaning termodinamik yo‘nalishini o‘zgartirmaydi, balki mahsulotning kristallanish sifatiga xizmat qiladi. Demak, grafik ma’lumotlari orqali yuqori sifatli Fe_2O_3 pigmenti olish uchun optimal termal sharoitlar tasdiqlandi.

Jarayonning umumiy termodinamik barqarorligi bilan bir qatorda, muvozanat konstantasining haroratga bog‘liqligi ham reaksiya yo‘nalishini chuqur tushunishda muhim omil hisoblanadi. Quyidagi 2-rasmda temir(II)-gidroksid cho‘kmasidan α-Fe_2O_3 hosil bo‘lish jarayonida K_m qiymatlarining haroratga nisbatan o‘zgarishi keltirilgan. Bu o‘zgarishlar reaksiya muvozanatining qaysi tomonga siljishini aniqlash hamda mahsulotning to‘liq shakllanishi uchun qulay sharoitlarni belgilash imkonini berdi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Gematit (Fe_2O_3) hosil bo‘lish jarayonidagi muvozanat konstantasining (K_m) haroratga bog‘liqligi

2-rasm tahlil natijalariga ko‘ra, harorat ortishi bilan muvozanat konstantasi (K_m) asta-sekin pasayib boradi. Bu pasayish reaksiya jarayonining endotermik xususiyatlari bilan izohlanadi. Biroq, bu holat ΔG ning manfiyga siljishi fonida yuz berayotganligi sababli, jarayonning umumiy borish ehtimoli yuqori bo‘lib qoladi. Harorat 700–750 °C oralig‘ida bo‘lganida, K_m nisbatan barqarorlashadi, bu esa mahsulotning fazaviy o‘zgarishlarsiz to‘liq shakllanishiga xizmat qiladi. Natijada, bu harorat diapazoni nafaqat kinetik, balki muvozanat nuqtai nazaridan ham samarali ekani tasdiqlanadi.

Ushbu bosqichda o‘tkazilgan termodinamik tahlillar temir(II)-gidroksid cho‘kmasidan Fe_2O_3 pigmentini olish jarayoni harorat bilan qanday o‘zgarishini chuqur tahlil qilish imkonini berdi. Hisob-kitob natijalariga ko‘ra, reaksiya davomida erkin energiyaning kamayishi va muvozanat konstantasidagi o‘zgarishlar jarayonning haroratga sezuvchanligini tasdiqlaydi. Gibbs energiyasining harorat oshgan sari pasayib borishi oksidlanish jarayonining issiqlikni talab qiluvchi, ya’ni endotermik xarakterini ko‘rsatadi. Aynan 700–750 °C harorat oralig‘ida erkin energiya eng past darajaga yetadi, bu esa reaksiya termodinamik nuqtai nazardan eng qulay bosqichga o‘tishini bildiradi.Muvozanat konstantasi (K_m) qiymatlarining harorat bo‘yicha o‘zgarishi esa reaksiya muvozanatining asta-sekin mahsulot yo‘nalishida siljishini tasdiqlaydi. Bu o‘zgarishlar Fe_2O_3 ning kristallanishiga mos sharoitni aniqlashda muhim mezon bo‘lib xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Shunday qilib, harorat parametrlarining chuqur tahlili temir(II)-gidroksid asosida gematit olish jarayonini ilmiy asosda optimallashtirish imkonini berdi va pigment sifatini belgilovchi muhim termodinamik ko‘rsatkichlar aniqlab berildi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

1. Askarova N.M; Axmedova N.E. Temir oksidli pigment olishning zamonaviy usullarini o‘rganish va tahlil qilish. “Development of science”. ISSN 3030-3907. Volume 2. 2025/6.
2. Samadov A., Askarova N., Toshkodirova R. Akhmedova N., Boltayev O., Mirzayev K. Processing of waste (tails) after flotation of copper production slag to obtain iron oxide pigment. E3S Web of Conferences 524, 0 (2024) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452402014 APEC-VII-2024.
3. Asqarova N.M, Axmedova N.E. Возможности переработки отходов флотации шлаков медного производства с получением железооксидного пигмента. Московский международный конгресс обогатителей (ммко-2025) удк 662.7. ББК 33.4 Ч-18. 186ст. Издательский Дом «Графит», 2025. – 350 с.
4. Alisher hoshim o‘g‘li, T., & Nabiullayevich, A. S. (2024). Neft Va Gazni Qayta Ishlash Korxonalari Jihoz Va Qurilmalarida Kelib Chiqishi Mumkin Bo’lgan Korroziyalar Va Ularning Ldini Olish Usullari. Miasto Przyszłości, 46, 847-851.
5. Hoshim O’g’li, T. A., Universiteti, B. D. T., Jumayevich, D. S. B., & Raxmatovna, D. X. G. Z. GAZLARNI MEA YORDAMIDA ABSORBSION TOZALASH.
6. Alisher, T., Vokhid, A., & Bobir, O. (2022). Synthesis and properties of thiourea based inhibitors. Universum: технические науки, (8-3 (101)), 63-65.
7. Темиров, А. Х. (2024). Технология Производства Ингибиторов Коррозии. Miasto Przyszłości, 46, 832-836.
8. Temirov, A. H. O. G. L., O’G’Li, G. A. H., & Nosirov, S. N. O. G. L. (2024). Kondensatsiya usuli yordamida gazni qayta ishlash texnologiyasi. Science and Education, 5(3), 204-210.
9. Temirov A. H., To'raqulova M. Q. & Izzatov D. H. (2024). ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ, ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ. Development Of Science, 4(1), pp. 19-24.
10. Alisher hoshim o’g’li, T., & Husan o’g’li, S. D. (2024). Dizel Yoqilg ‘Isi Tarkibidan Parafinni Adsorbsion Usulda Ajratib Olish Texnologik Tizimi Tahlili. Miasto Przyszłości, 46, 271-275.

ISSN 3030-3907