

Raport ze sprawdzenia istniejących odchyłek geometrycznych belek, szyn podsuwnicowych i wsporników słupów

**inwestor: Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny
ul. Karola Miarki 12-14, 44-100 Gliwice**

autorzy:

dr inż. Łukasz Rduch

upr. nr SLK/5526/POOK/14
uprawnienia do projektowania
w specjalności konstrukcyjno-budowlanej

listopad 2023

Spis treści

Spis treści.....	2
1. Cel ekspertyzy	4
2. Belka podsuwnicowa poddana weryfikacji	4
2.1. Opis	4
2.2. Przekrój poziomy nr 7 (dot. Rys.6 w części rysunkowej).....	6
2.3. Przekrój podłużny pionowy nr 2 (dot. Rys.5 w części rysunkowej).....	7
2.4. Przekrój podłużny pionowy nr 1 (dot. Rys.4 w części rysunkowej).....	8
2.5. Przekrój podłużny pionowy nr 1 (dot. Rys.4 w części rysunkowej).....	9
2.6. Przekrój poprzeczny nr 6 (dot. Rys.3 w części rysunkowej)	10
2.7. Przekrój poprzeczny nr 5 (dot. Rys.2 w części rysunkowej)	11
2.8. Przekrój poprzeczny nr 2 (dot. Rys.1 w części rysunkowej)	12
2.9. Przekrój poprzeczny nr 1 i 2 (dot. Rys.1 i 2 w części rysunkowej)	13
2.10. Przekrój poprzeczny nr 7 (dot. Rys. 7 w części rysunkowej)	14
2.11. Przekrój poprzeczny nr 8 (dot. Rys. 8 w części rysunkowej)	15
2.12. Przekrój poprzeczny nr 8 (dot. Rys. 8 w części rysunkowej)	16
2.13. Przekrój poprzeczny nr 8 (dot. Rys. 8 w części rysunkowej)	17
2.14. Przekrój poziomy przez szynę podsuwnicową z porównaniem współosiowości (Rys.9 w części rysunkowej).....	18
2.15. Krzywizna pozioma szyny podsuwnicowej (Rys.11 w części rysunkowej)	18
2.16. Krzywizna pozioma środka belki podsuwnicowej (Rys.10 w części rysunkowej)	19
3. Podsumowanie i wnioski.....	19
Załączniki	20

1. Cel ekspertyzy

Celem niniejszej analizy jest weryfikacja przemieszczeń, odkształceń oraz odchyłek, które determinują właściwe oraz bezpieczne użytkowanie elementu konstrukcyjnego poddanego sprawdzeniu. Przeprowadzone zostały one w oparciu o normy:

- PN-91/M-45457 (ISO 8306-1985): „Dźwignice; Tory jezdne suwnic pomostowych- wymagania” Tablica wg pkt 2.5
- PN-EN 1993-6: Eurokod 3: „Projektowanie konstrukcji stalowych; Część 6: Konstrukcje wsporcze dźwignic”

2. Belka podsuwnicowa poddana weryfikacji

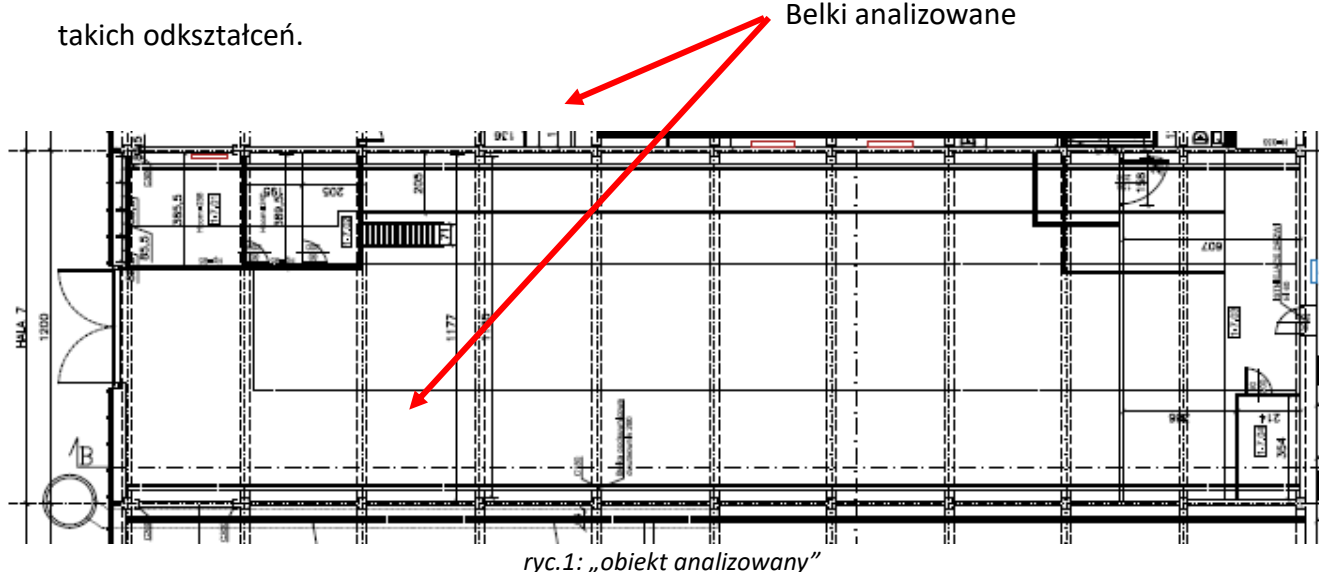
2.1. Opis

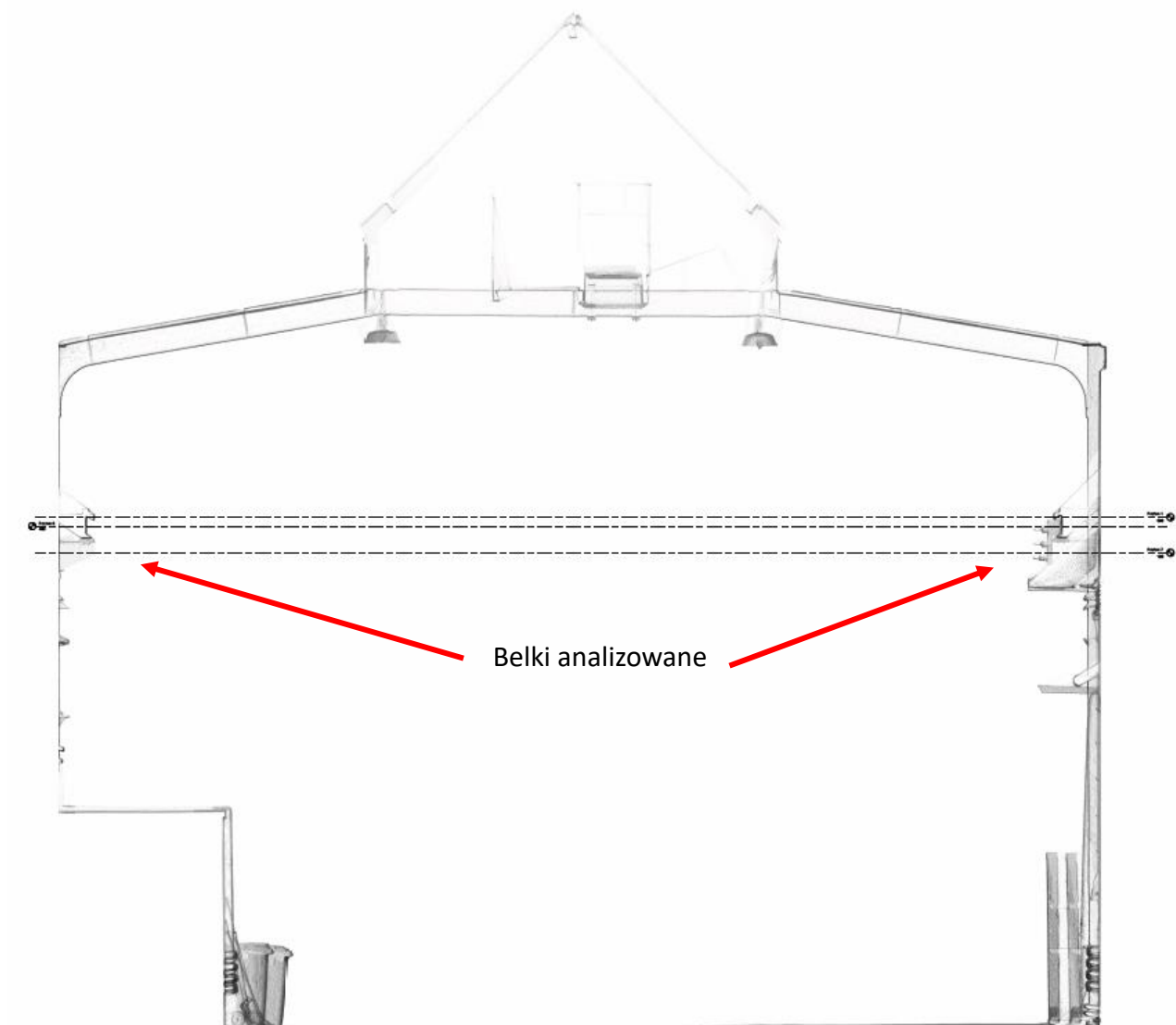
Przedmiotem analizy jest belka podsuwnicowa IPN260+UPN160 podparta co 4 m na wspornikach IPN340. Na belce spoczywa szyna o przekroju kwadratowym o boku 60mm trwale związana z dźwigarem.

Analiza geometryczna jest przeprowadzona w oparciu o skan trójwymiarowy wykonany bezpośrednio w hali poddanej sprawdzeniu. Skan został zweryfikowany pomiarami bezpośrednimi.

Wykonano przekroje poziome oraz pionowe, które zostaną dołączone do niniejszej dokumentacji, wskazujące nieraz na znaczne rozbieżności z wartościami dopuszczalnymi podanymi normatywnie.

Analizowane są przemieszczenia pionowe, poziome, obroty kątowe, oraz wzajemne złożenia takich odkształceń.



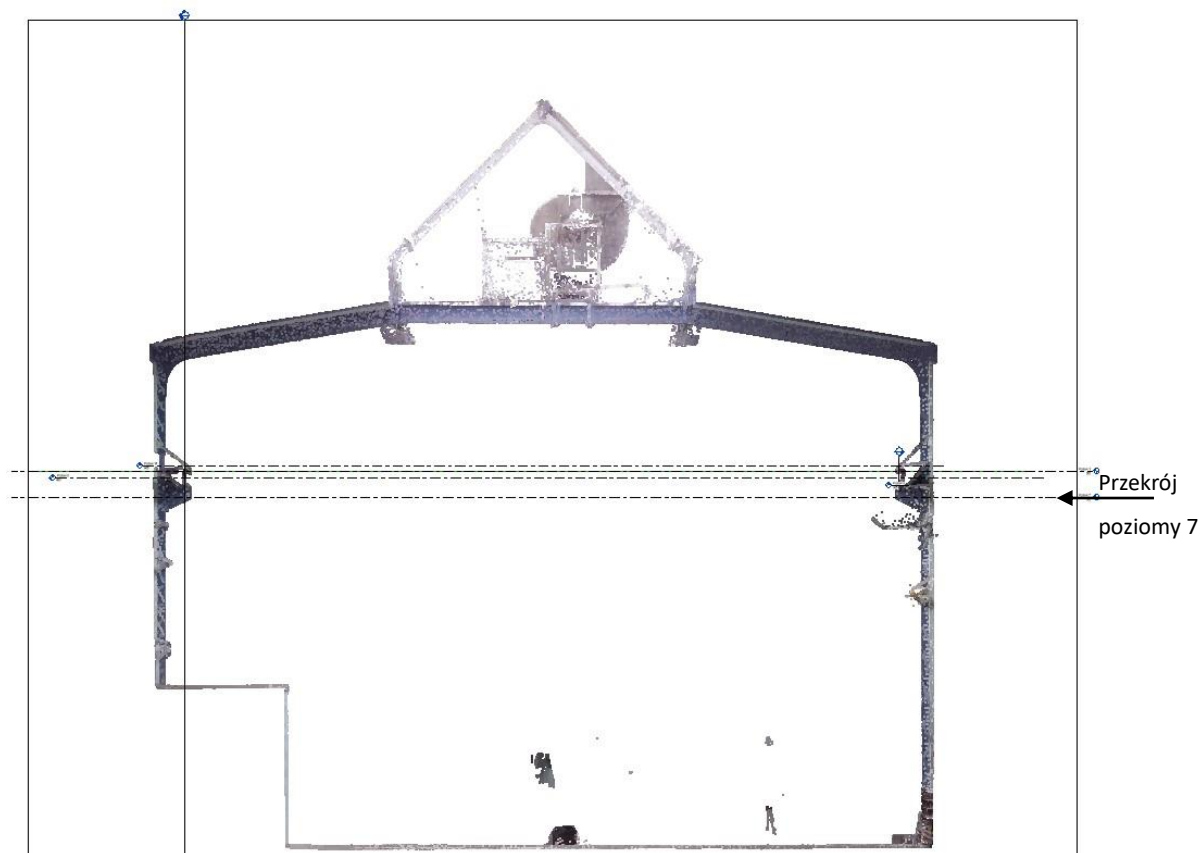


ryc.2: „Przekrój poprzeczny hali poddanej analizie”

Poziomy porównawcze wskazane w niniejszym opracowaniu stanowią lokalne odniesienie do płaszczyzny nieodkształconej. Nie są one związane w żaden sposób z konstrukcją, a służą wyłącznie do celów przeprowadzenia porównania z wymogami normatywnymi.

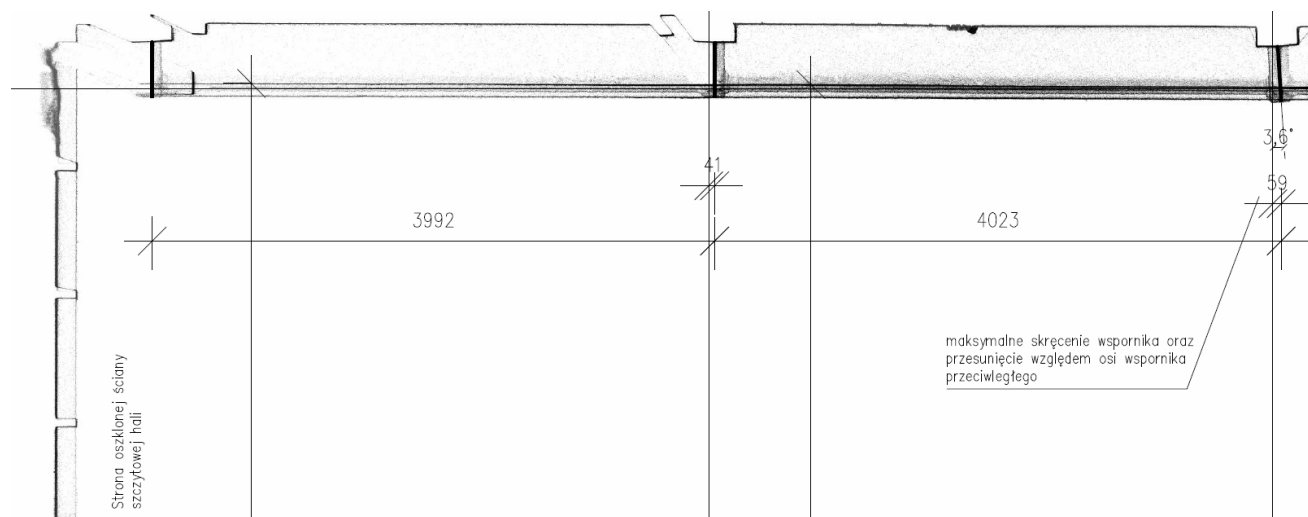
2.2. Przekrój poziomy nr 7 (dot. Rys.6 w części rysunkowej)

Wsporniki belki podsuwnicowej pokazane są na przekroju nr 7



ryc. 3: „lokalizacja przekroju 7”

Zauważyć należy odchylenie od osi oraz skrócenie wsporników belki podsuwnicowej. Maksymalne wartości to odpowiednio 59mm oraz $3,6^\circ$.

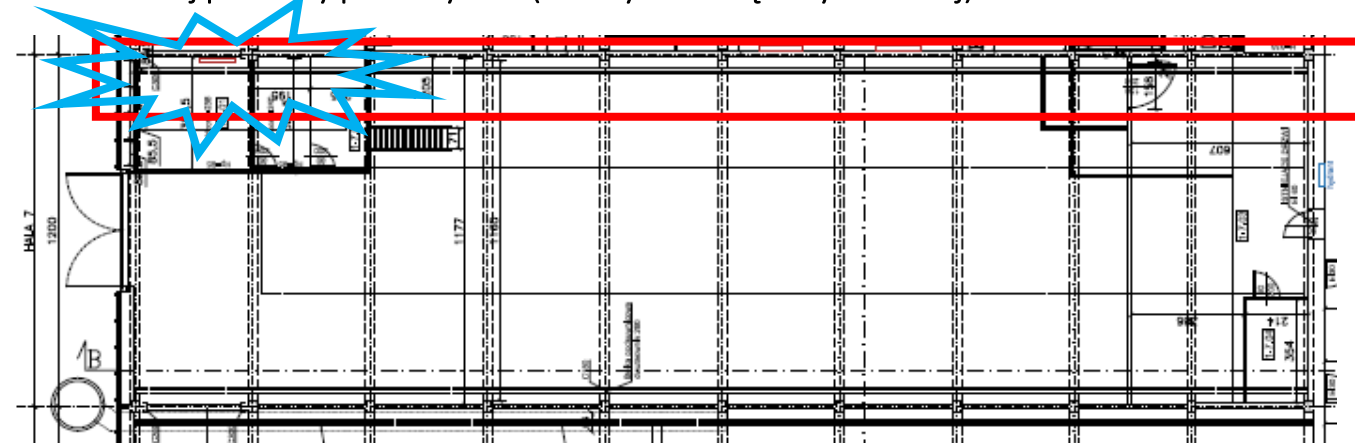


ryc. 4: „wskazanie ekstremalnych wartości odkształceń”

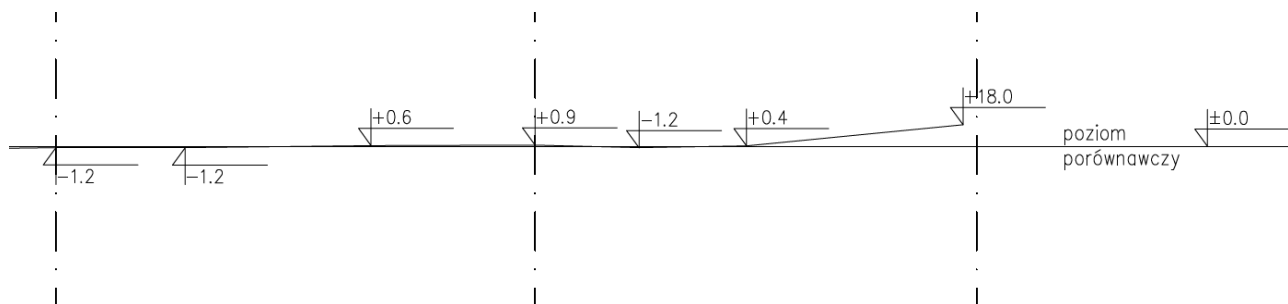
Trwałe odkształcenia mogą wynikać z siły hamowania/ przyspieszania mostu suwnicy lub też uderzenia mechanicznego w element konstrukcyjny, ale mogą to też być niedokładności montażowe.

Wsporniki są podłużnie niestężone, co bardzo negatywnie wpływa na ich wytrzymałość w okresie eksploatacji oraz może prowadzić do przekroczenia nośności elementu konstrukcyjnego zginanego dwukierunkowo, a w rezultacie utraty parametrów podparcia belki podsuwnicowej oraz zaburzenia pracy suwnicy.

2.3. Przekrój podłużny pionowy nr 2 (dot. Rys.5 w części rysunkowej)



ryc. 7: „lokalizacja belki analizowanej”



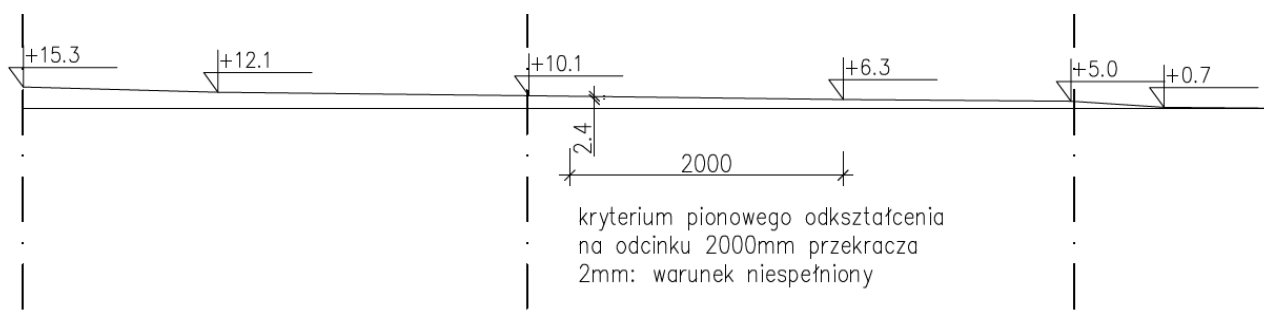
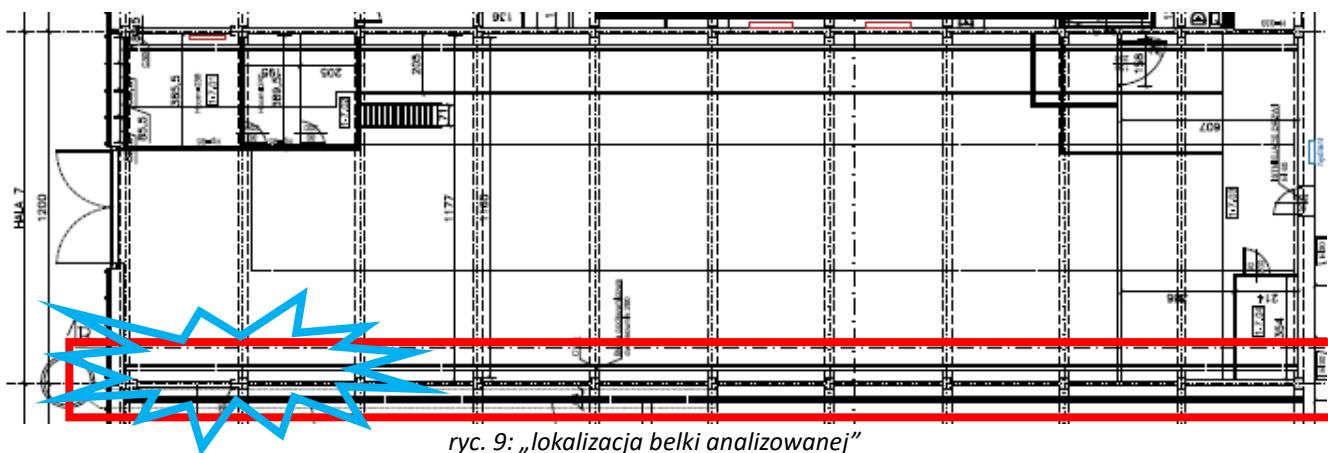
ryc. 8: „wskazanie odstępstwa”

Przeciwny koniec belki jest obciążony odkształceniem w płaszczyźnie pionowej, która przekracza wspomniany powyżej punkt normy.

Mając na uwadze teoretyczną rozpiętość osiową wsporników i układów poprzecznych $L=4,00m$ zarejestrowano na długości 2,00m 17,6mm odkształcenia, co stanowi:

Warunek: $17,6mm/2mm = 880\%$ **nie został spełniony.**

2.4. Przekrój podłużny pionowy nr 1 (dot. Rys.4 w części rysunkowej)



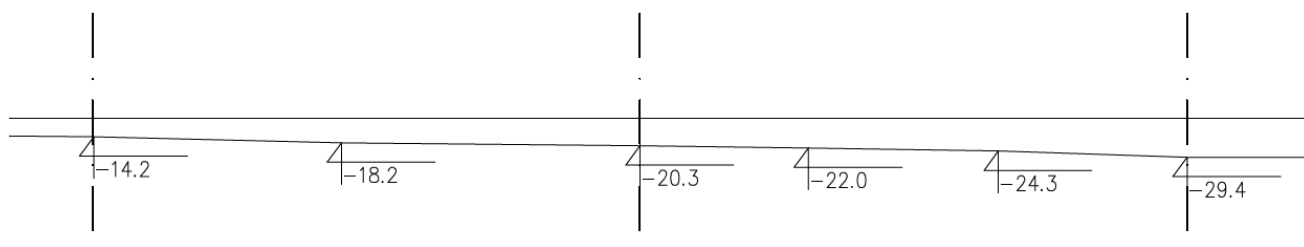
ryc. 10: „wskazanie odstępstwa”

Jak wskazano powyżej, w nawiązaniu do przedmiotowej normy, nie jest spełniona wartość ujęta kryterium nr 7 pkt. 2.5 : **krzywizna główki szyny (powierzchni toczonej) w kierunku wzdłużnym na odcinku 2m** ograniczona od góry wartością 2mm.

Zarejestrowane przemieszczenie: $u_z = 6,9\text{mm}$

Warunek: $2,4\text{mm}/2\text{mm} = 120\%$ **nie został spełniony**

2.5. Przekrój podłużny pionowy nr 1 (dot. Rys.4 w części rysunkowej)



Jak wskazano powyżej, w nawiązaniu do przedmiotowej normy, nie jest spełniona wartość ujęta kryterium nr 7 pkt. 2.5 : **krzywizna główki szyny (powierzchni tocznej) w kierunku wzdłużnym na odcinku 2m** ograniczona od góry wartością 2mm.

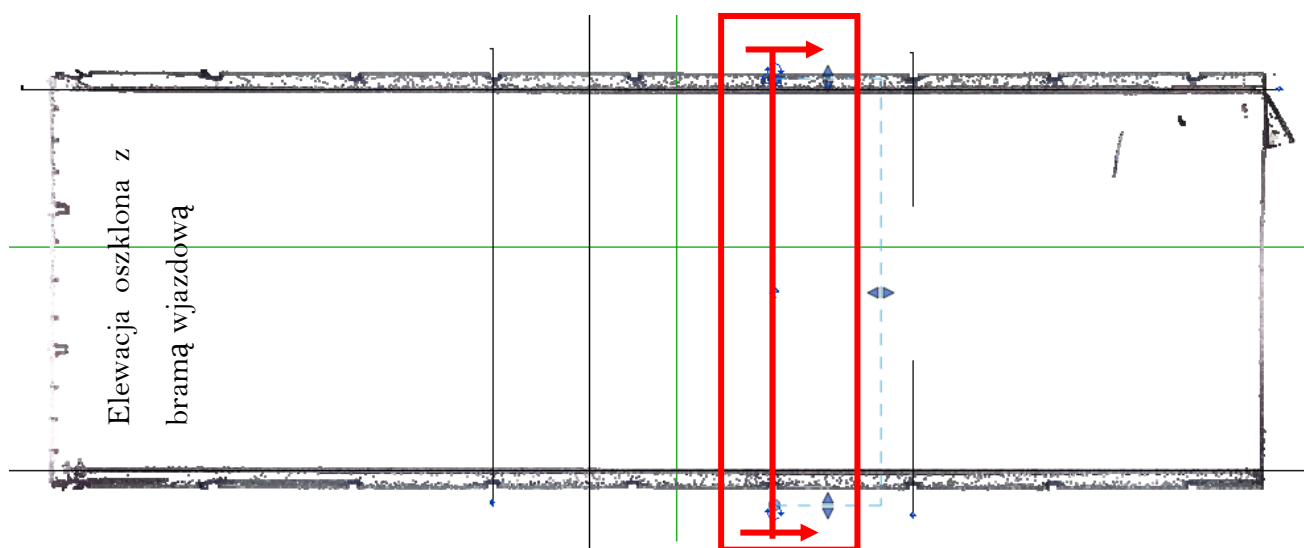
Na odcinku połowy rozpiętości między układami poprzecznymi $L=2,00m$

Zarejestrowane przemieszczenie: $u_z = -18,2mm - (-14,2mm) = -4,0mm$

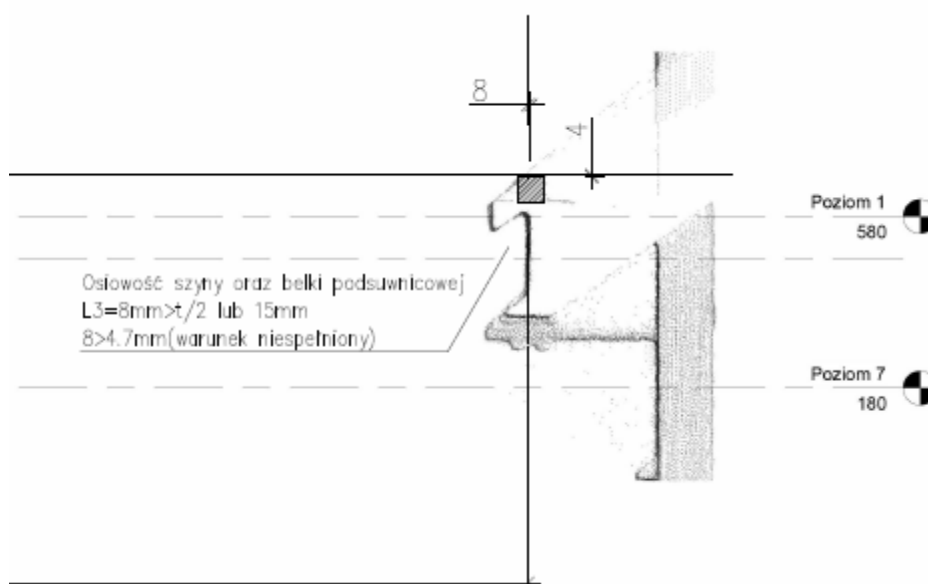
Warunek: $4mm/2mm = 200\%$ **nie został spełniony**

2.6. Przekrój poprzeczny nr 6 (dot. Rys.3 w części rysunkowej)

Pomiar osiowości belki podsuwnicowej i szyny oraz rozstawu na długości hali.



ryc. 13: „lokalizacja przekroju”



ryc.14: „ryc. wskazanie odstępstwa prawej strony”

Jak wskazano powyżej, w nawiązaniu do przedmiotowej normy, nie jest spełniona wartość ujęta kryterium nr 5 pkt. 2.5 : **Przesunięcie osi szyny względem belki podsuwnicowej** ograniczona od góry wartością połowy grubości średnika belki i nie więcej niż 15mm.

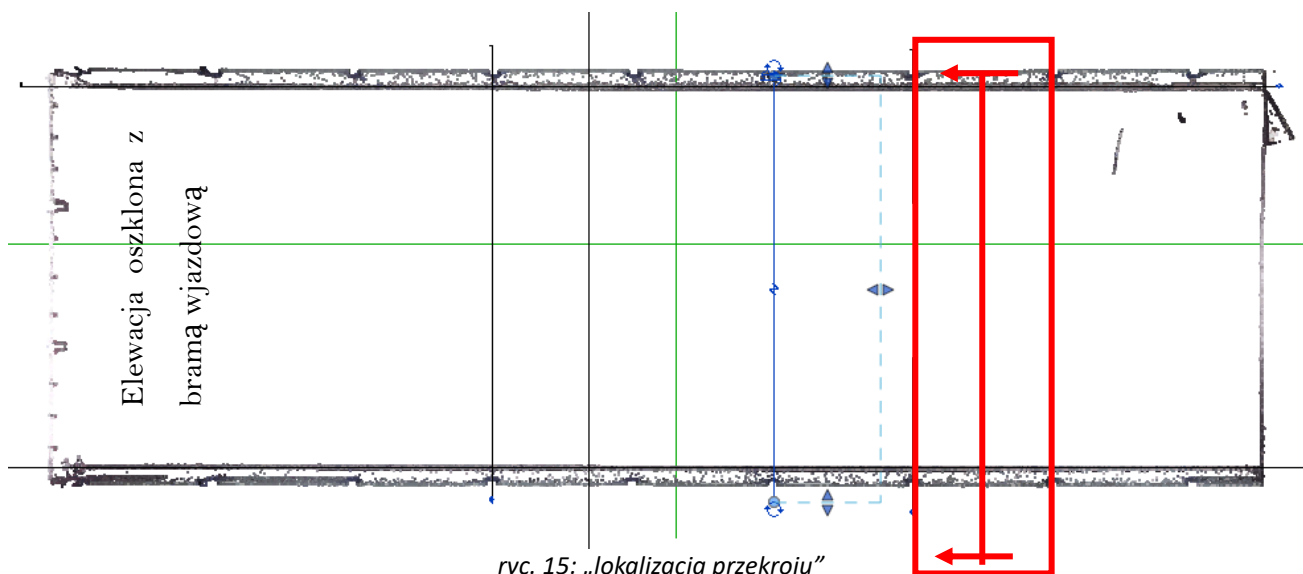
Zarejestrowane przemieszczenie: $u_y = 8\text{mm}$

Wartość dopuszczalna: $t/2 = 9,4\text{mm}/2 = 4,7\text{mm}$ i 15mm

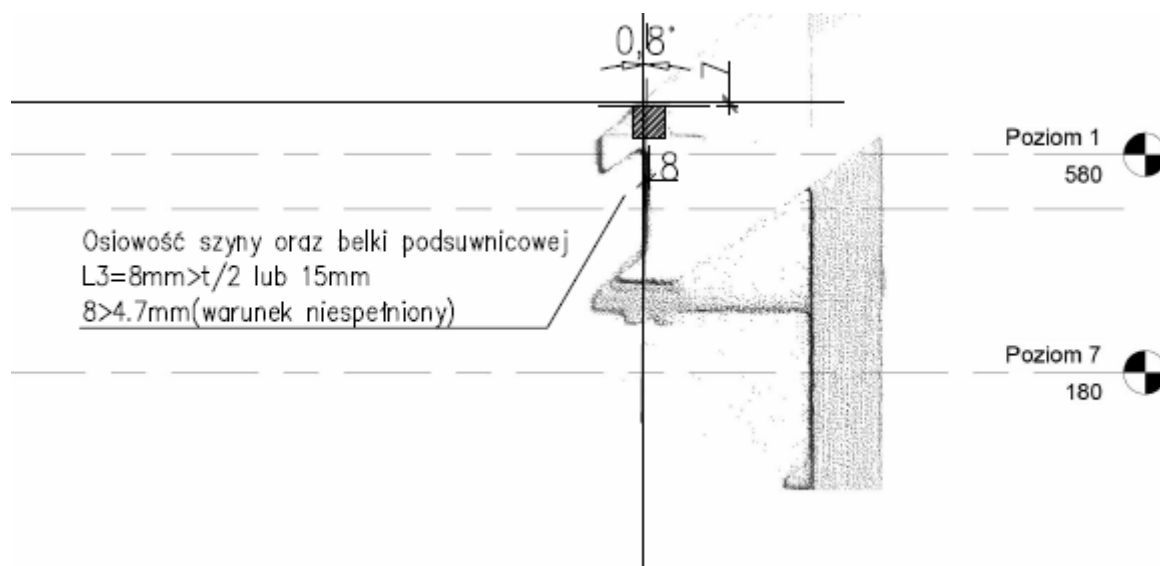
Warunek: $8\text{mm}/4,7\text{mm} = 170\%$ **nie został spełniony**

2.7. Przekrój poprzeczny nr 5 (dot. Rys.2 w części rysunkowej)

Pomiar osiowości belki podsuwnicowej i szyny oraz rozstawu na długości hali.



ryc. 15: „lokalizacja przekroju”



ryc.16: „wskazanie odstępstwa prawej strony”

Jak wskazano powyżej, w nawiązaniu do przedmiotowej normy, nie jest spełniona wartość ujęta kryterium nr 5 pkt. 2.5 : **Przesunięcie osi szyny względem belki podsuwnicowej** ograniczona od góry wartością połowy grubości środnika belki i nie więcej niż 15mm.

Zarejestrowane przemieszczenie: $u_y = 8\text{mm}$

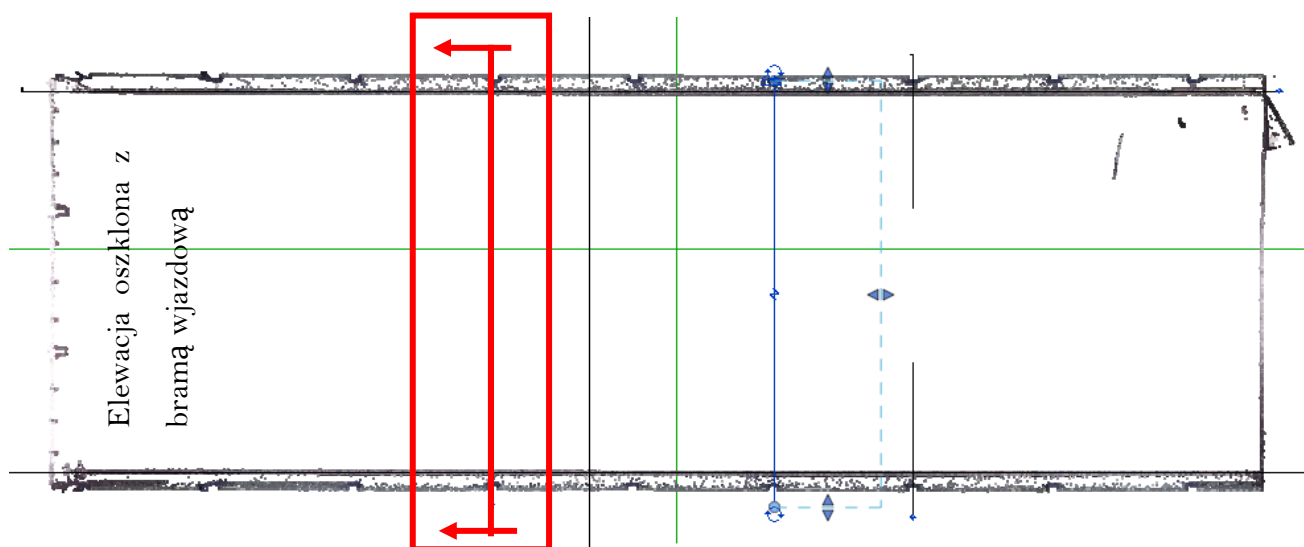
Wartość dopuszczalna: $t/2 = 9,4\text{mm}/2 = 4,7\text{mm}$ i 15mm

Warunek: $8\text{mm}/4,7\text{mm} = 170\%$ **nie został spełniony**

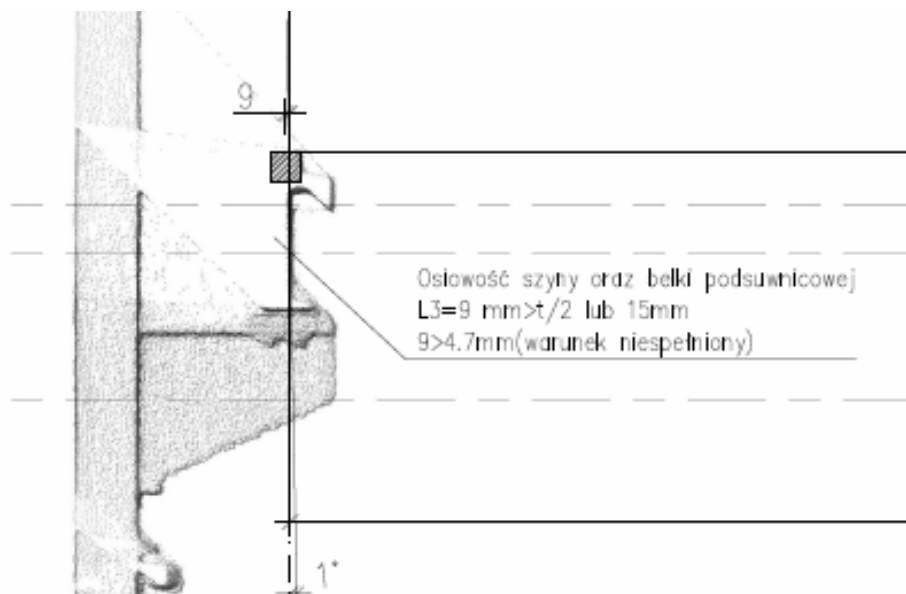
Należy zwrócić uwagę na lokalizację występowania wskazanego przekroczenia związaną z przeciwnym zwrotem przekroju.

2.8. Przekrój poprzeczny nr 2 (dot. Rys.1 w części rysunkowej)

Pomiar osiowości belki podsuwnicowej i szyny oraz rozstawu na długości hali.



ryc.17: „lokalizacja przekroju”



ryc.18: „ryc. wskazanie odstępstwa lewej strony”

Jak wskazano powyżej, w nawiązaniu do przedmiotowej normy, nie jest spełniona wartość ujęta kryterium nr 5 pkt. 2.5 : **Przesunięcie osi szyny względem belki podsuwnicowej** ograniczona od góry wartością połowy grubości średnika belki i nie więcej niż 15mm.

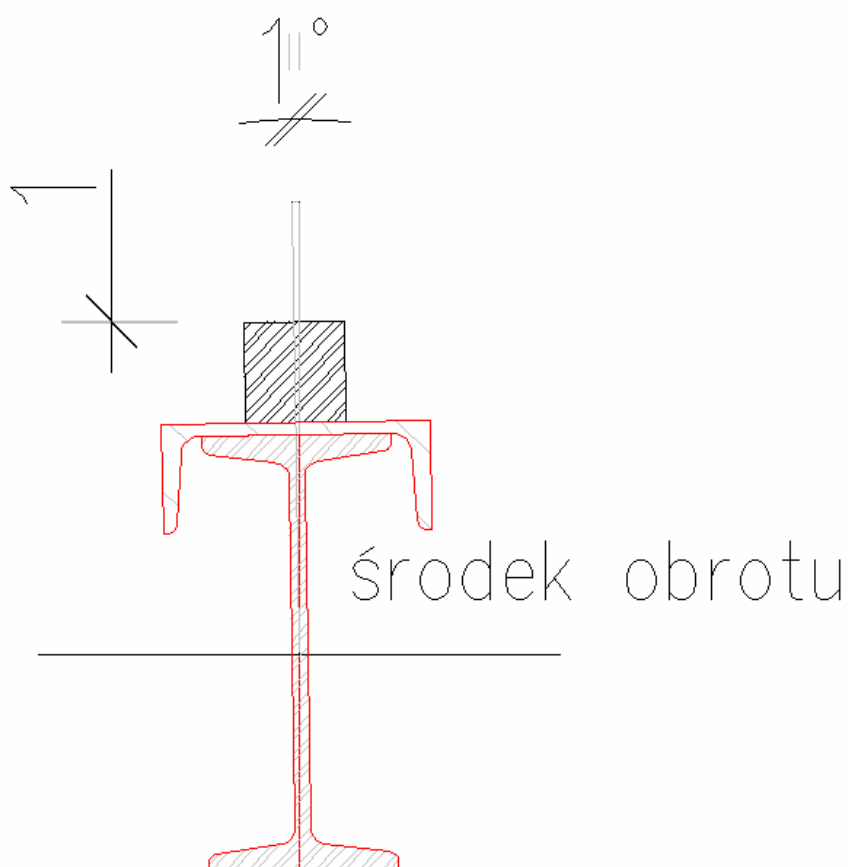
Zarejestrowane przemieszczenie: $u_y = 8\text{mm}$

Wartość dopuszczalna: $t/2 = 9,4\text{mm}/2 = 4,7\text{mm}$ i 15mm

Warunek: $9\text{mm}/4,7\text{mm} = 191\%$ **nie został spełniony**

Należy zwrócić uwagę na lokalizację występowania wskazanego przekroczenia związaną z przeciwnym zwrotem przekroju.

2.9. Przekrój poprzeczny nr 1 i 2 (dot. Rys.1 i 2 w części rysunkowej)



ryc.19: „Skręcenie przekroju belki podsuwnicowej”

Jak wskazano powyżej, w nawiązaniu do przedmiotowej normy, mając na uwadze wskazane rotacje wyszczególnione w pkt. 2.8 i 2.9 niniejszego opracowania nie jest spełniona wartość ujęta kryterium nr 6 pkt. 2.5 : **Pochylenie szyn z główką płaską** ograniczona od góry wartością 6‰.

Należy zwrócić uwagę na wspólną rotację przekroju belki oraz szyny podsuwnicowej.

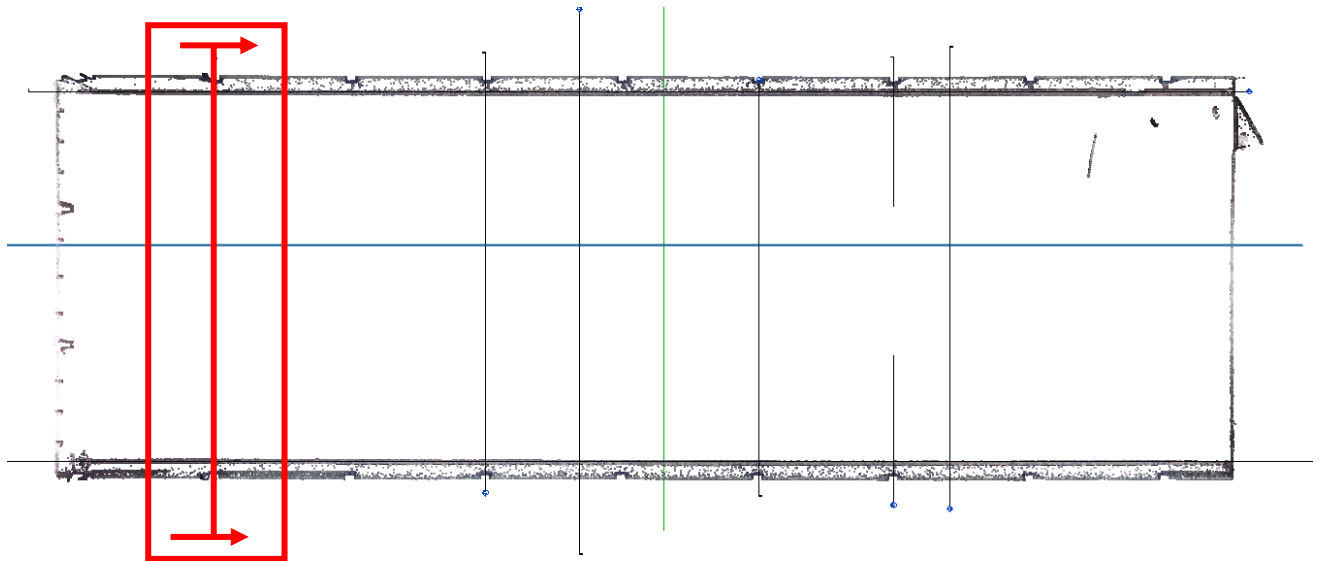
Zarejestrowane przemieszczenie: $\alpha=0,8^\circ$ oraz 1° odpowiednio

Dla krawędzi o boku 60mm pionowe przemieszczenie krawędzi spowodowane rotacją wynosi 1mm w obu przypadkach.

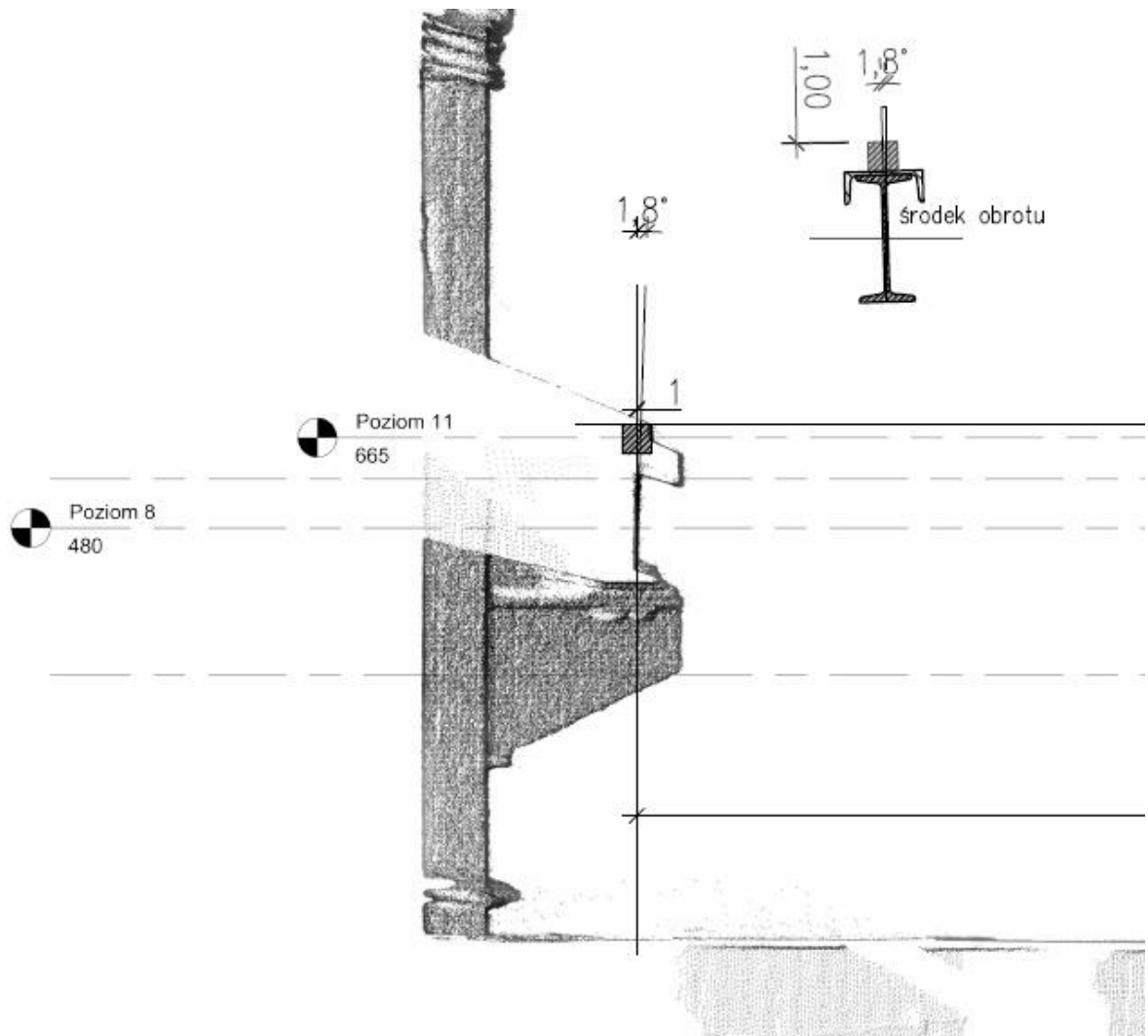
Wartość pochylenia: $1\text{mm} \cdot 1000[\text{‰}] / 60\text{mm} = 16,7\text{‰}$

Warunek: $16,7\text{‰} / 6\text{‰} = 278\%$ **nie został spełniony**

2.10. Przekrój poprzeczny nr 7 (dot. Rys. 7 w części rysunkowej)



ryc.20: „lokalizacja przekroju”



ryc.21: „wskazanie odstępstwa lewej strony”

Jak wskazano powyżej, w nawiązaniu do przedmiotowej normy, mając na uwadze wskazaną rotację wyszczególnioną w pkt. 2.10 niniejszego opracowania nie jest spełniona wartość ujęta kryterium nr 6 pkt. 2.5 : **Pochylenie szyn z główką płaską** ograniczona od góry wartością 6‰.

Należy zwrócić uwagę na wspólną rotację przekroju belki oraz szyny podsuwnicowej.

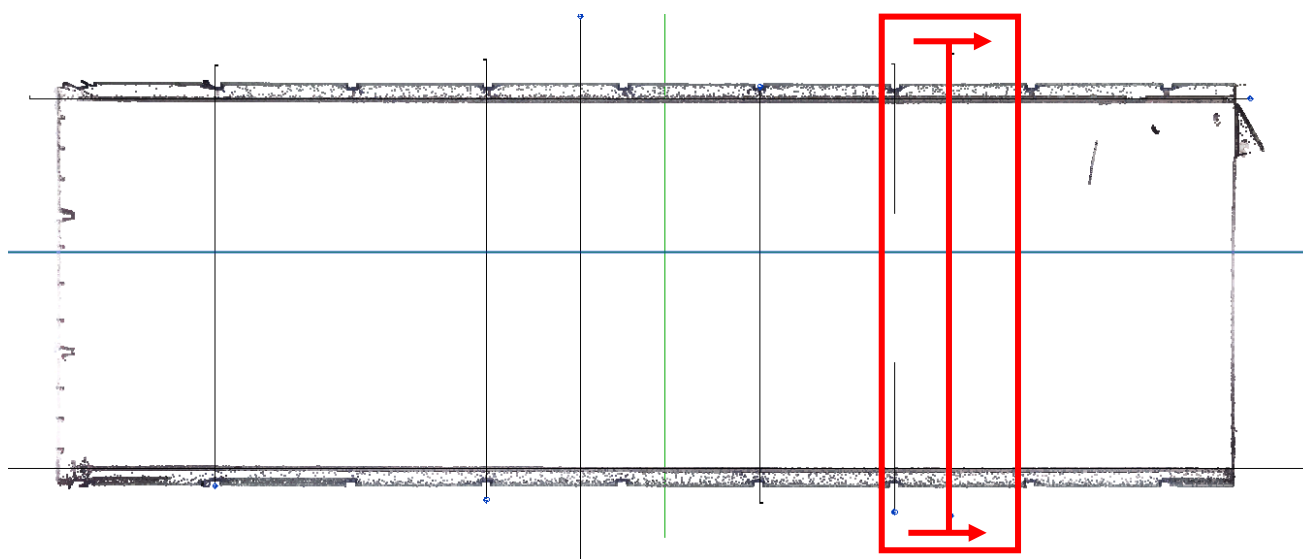
Zarejestrowane przemieszczenie: $\alpha=1^\circ$

Dla krawędzi o boku 60mm pionowe przemieszczenie krawędzi spowodowane rotacją wynosi 1mm.

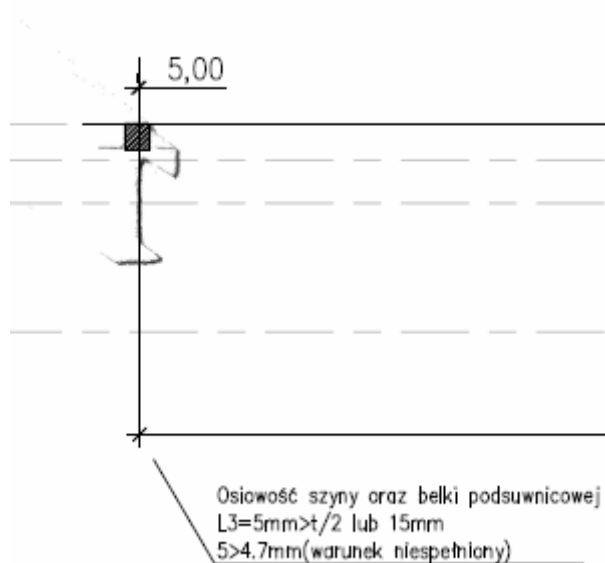
Wartość pochylenia: $1\text{mm} \cdot 1000[\text{‰}] / 60\text{mm} = 16,7\text{‰}$

Warunek: $16,7\text{‰} / 6\text{‰} = 278\%$ **nie został spełniony**

2.11. Przekrój poprzeczny nr 8 (dot. Rys. 8 w części rysunkowej)



ryc.22: „lokalizacja przekroju”



ryc.23: „wskazanie odstępstwa lewej strony

Jak wskazano powyżej, w nawiązaniu do przedmiotowej normy, nie jest spełniona wartość ujęta

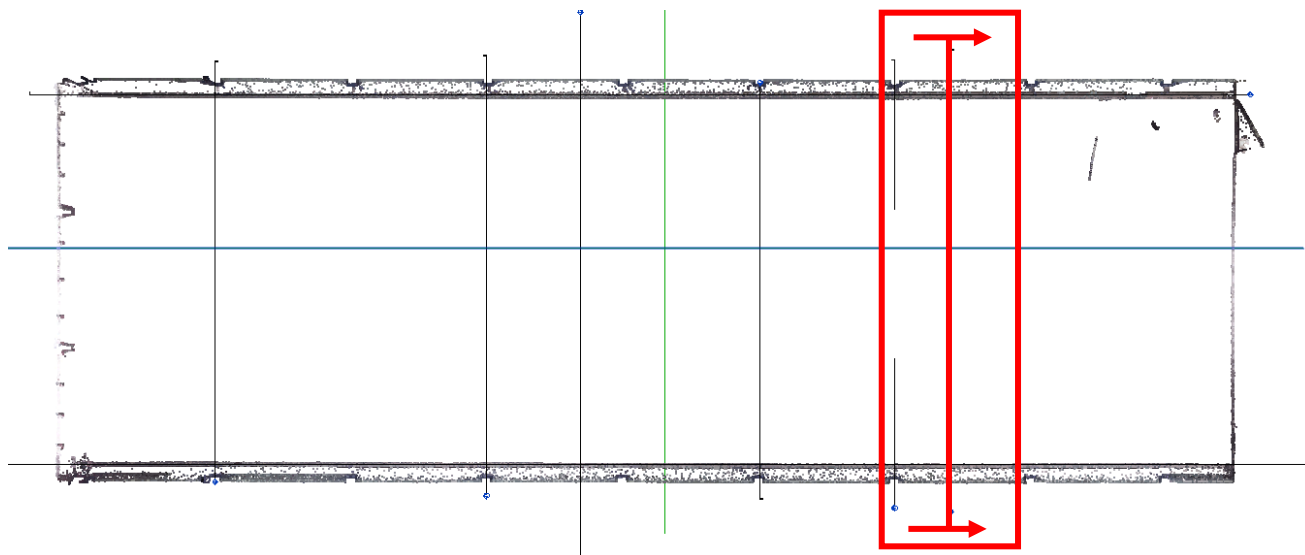
kryterium nr 5 pkt. 2.5 : **Przesunięcie osi szyny względem belki podsuwnicowej** ograniczona od góry wartością połowy grubości środnika belki i nie więcej niż 15mm.

Zarejestrowane przemieszczenie: $u_y = 5\text{mm}$

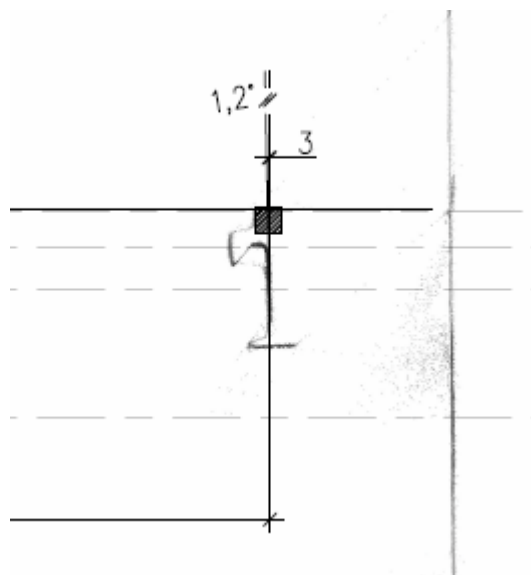
Wartość dopuszczalna: $t/2 = 9,4\text{mm}/2 = \underline{4,7\text{mm}}$ i 15mm

Warunek: $5\text{mm}/4,7\text{mm} = 106\%$ **nie został spełniony**

2.12. Przekrój poprzeczny nr 8 (dot. Rys. 8 w części rysunkowej)



ryc.24: „lokalizacja przekroju”



ryc.25: „wskazanie odstępstwa prawej strony

Jak wskazano powyżej, w nawiązaniu do przedmiotowej normy, mając na uwadze wskazane rotacje wyszczególnioną w pkt. 2.13 niniejszego opracowania nie jest spełniona wartość ujęta kryterium nr 6 pkt. 2.5 : **Pochylenie szyn z główką płaską** ograniczona od góry wartością 6‰.

Należy zwrócić uwagę na wspólną rotację przekroju belki oraz szyny podsuwnicowej.

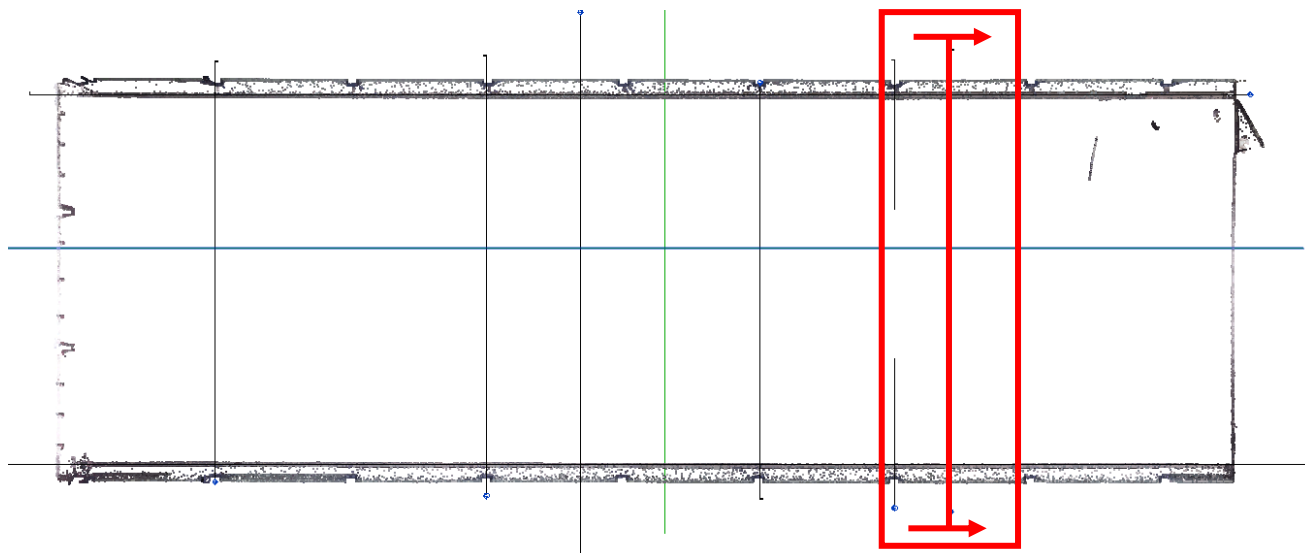
Zarejestrowane przemieszczenie: $\alpha=1,2^\circ$

Dla krawędzi o boku 60mm pionowe przemieszczenie krawędzi spowodowane rotacją wynosi 1mm.

Wartość pochylenia: $1\text{mm} \cdot 1000[\%]/60\text{mm} = 16,7\%$

Warunek: $16,7\%/6\%=278\%$ **nie został spełniony**

2.13. Przekrój poprzeczny nr 8 (dot. Rys. 8 w części rysunkowej)



ryc.26: „lokalizacja przekroju”

		10971
pomiar rozstawu światła środków belek		
Nr słupa	rozstaw [mm]	
1	10983.0	
2	10990.0	
3	10997.0	
4	10989.0	
5	10968.0	
6	10983.0	
7	10981.0	
8	10988.0	
rozstaw średni Aśr	10984.9	
średnik t	9.4	
t+Aśr	10994.3	

Rozstaw osiowy szyn L_w przy $L_w > 10,00\text{m}$
 $L_w = 10971\text{mm} - 3\text{mm} + 5\text{mm} = 10973\text{mm}$
Rozstaw średni jak wyznaczono
 $L_w, \text{śr} = 10994\text{mm}$
Odstępstwo: $10994\text{mm} - 10973 + 3,25\text{mm} = 18\text{mm}$
 $18\text{mm} > 15\text{mm}$ (warunek niespełniony)

ryc.27: „wskazanie odstępstwa rozstawu osiowego

$$L_w := 11,0 \text{ m} \quad L_{w, \delta x} := 10994 \text{ mm}$$

$$\Delta_1 := \pm \left(3 \text{ mm} + \left(\frac{1}{4} \right) \cdot \frac{L_w}{1000} - 10 \text{ mm} \right)$$

$$\Delta_1 = \pm (3 \text{ mm} + 0,25 \text{ mm})$$

$$L_{w,2} := \Delta_1 + L_{w, \delta x}$$

$$L_{w,2} = 10991 \text{ mm}$$

$$(\delta := 10991) \text{ mm} - 10971 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}$$

$$\delta = ((20 \text{ mm} > 15 \text{ mm}) = \delta_{dop}) \quad \text{warunek niespełniony}$$

Nie został spełniony warunek wg kryterium nr 1: **Rozstaw szyn** w odniesieniu do średniej rozstawu osiowego.

2.14. Przekrój poziomy przez szynę podsuwnicową z porównaniem współosiowości (Rys.9 w części rysunkowej)

Przedstawiono w nadmienionym załączniku różnice współosiowości zgodnie z punktem 5:

kryterium nr 5 pkt. 2.5 : **Przesunięcie osi szyny względem belki podsuwnicowej** ograniczona od góry wartością połowy grubości środka belki i nie więcej niż 15mm.

Zarejestrowane przemieszczenia należy weryfikować wraz z dokumentacją dołączoną do niniejszego opracowania.

Warunek nie został spełniony.

2.15. Krzywizna pozioma szyny podsuwnicowej (Rys.11 w części rysunkowej)

Przedstawiono w nadmienionym załączniku lokalnie występujące krzywizny zgodnie z punktem 3:

kryterium nr 3 pkt. 2.5 : **Odchylenie osi szyny od prostej (w płaszczyźnie poziomej)** ograniczona od góry wartością 10mm.

Zarejestrowane przemieszczenia należy weryfikować wraz z dokumentacją dołączoną do niniejszego opracowania.

Warunek nie został spełniony.

2.16. Krzywizna pozioma środka belki podsuwnicowej (Rys.10 w części rysunkowej)

Przekrój sporządzono celem przedstawienia wartości porównawczych wykorzystanych do zbadania współosiowości obu z przekrojów nośnych składających się na tor jezdny. Wartości te w odniesieniu do wspólnie przyjętego poziomu porównawczego są wyszczególnione w punkcie 2.15 niniejszego opracowania.

3. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzono analizę geometrii belek podsuwnicowych na podstawie skanu trójwymiarowego zweryfikowanego pomiarami bezpośrednimi. Załączone przekroje poprzeczne zostały sporządzone w miejscach charakterystycznych o największych odchyleniach. Podobne odchylenia występują także w innych przekrojach.

Stwierdzono znaczne odchylenia geometrii niespełniające warunków normowych. Odchylenia te występują także pomiędzy podporami belek, co uniemożliwia likwidację odchyleń przez rektyfikację belek na podporach.

Załączniki

- Rys. 1 odchylenie osi belki podsuwnicowej od pionu przekrój poprzeczny 2
- Rys. 2 odchylenie osi belki podsuwnicowej od pionu przekrój 5
- Rys. 3 odchylenie osi belki podsuwnicowej od pionu przekrój 6
- Rys. 4 Przemieszczenia pionowe przekrój podłużny 1
- Rys. 5 Przemieszczenia pionowe przekrój pionowy podłużny 2
- Rys. 6 Przekrój poziomy nr 7 przez wsporniki skręcenie i rozstawy osi
- Rys. 7 odchylenie osi belki podsuwnicowej od pionu przekrój 7
- Rys. 8 odchylenie osi belki podsuwnicowej od pionu przekrój 8
- Rys. 9 Przekrój poziomy przez szynę podsuwnicową z porównaniem współosiowości
- Rys. 10 Krzywizna pozioma środka belki podsuwnicowej
- Rys.11 Krzywizna pozioma szyny podsuwnicowej