



## **„STALOMECH - brakujące ogniwo całkowitego wcielenia opony w drogę”**



"Przyszłość dróg zależy od Ciebie - nie myśl szablonowo"

Kwiecień 2013



## Spis treści

<b>1. Wprowadzenie</b> .....	<b>4</b>
1.1. Pozyskiwanie stali z recyklingu opon .....	4
1.2. Normy związane z recyklingiem opon .....	5
1.3. Opis szczegółowy drutu stalowego .....	6
1.4. Problem z powtórny wykorzystaniem drutu stalowego .....	7
<b>2. Problem uszkodzeń nawierzchni drogowych</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Rodzaje wzmocnień nawierzchni</b> .....	<b>9</b>
<b>4. Stalomech</b> .....	<b>10</b>
<b>5. Zastosowanie</b> .....	<b>11</b>
<b>6. Opis procesu wykonania próbek wraz z określeniem masy drutu stalowego i emulsji asfaltowej potrzebnej do wykonania 1m<sup>2</sup> Stalomchu.</b> .....	<b>11</b>
6.1. Próba sprasowania .....	11
6.2. Stworzenie maty .....	12
6.3. Obliczenia masy drutu i potrzebnej emulsji asfaltowej .....	13
6.4. Sprawdzenie zachowania maty wbudowanej pomiędzy warstwy z MMA .....	14
6.5. Wypełnienie maty mieszanką mineralno-emulsyjną .....	15
6.6. Wypełnienie maty zaprawą cementową .....	16
6.7. Próba wymieszania włókien stalowych z mieszanką mineralno-asfaltową .....	17
<b>7. Wyniki i wnioski końcowe</b> .....	<b>18</b>
<b>8. Masowa produkcja Stalomchu</b> .....	<b>18</b>
8.1. Informacje wstępne .....	18
8.2. Proces produkcji .....	18
8.3. Badania .....	20
8.4. Innowacyjne badanie - wytrzymałość na rozciąganie próbki zalanej cementem i pokrytej MMA .....	22
8.5. Badania na placu budowy .....	23
8.6. Transport i składowanie .....	23
8.6.1. Podstawowe zalecenia dotyczące transportu .....	23
8.6.2. Podstawowe zalecenia dotyczące składowania .....	23
8.7. Wbudowanie .....	24
8.7.1. Przygotowanie podłoża .....	24
8.7.2. Układanie mat przeciwpękaniowych .....	24
8.7.3. Zalanie mat zaprawą cementową .....	24
8.7.4. Zalanie mat odpowiednio zaprojektowaną mieszanką mineralno-emulsyjną "Slurry Seal" .....	24
8.7.5. Wykonanie warstwy przykrywającej .....	25
<b>9. Koszty masowej produkcji Stalomchu</b> .....	<b>25</b>



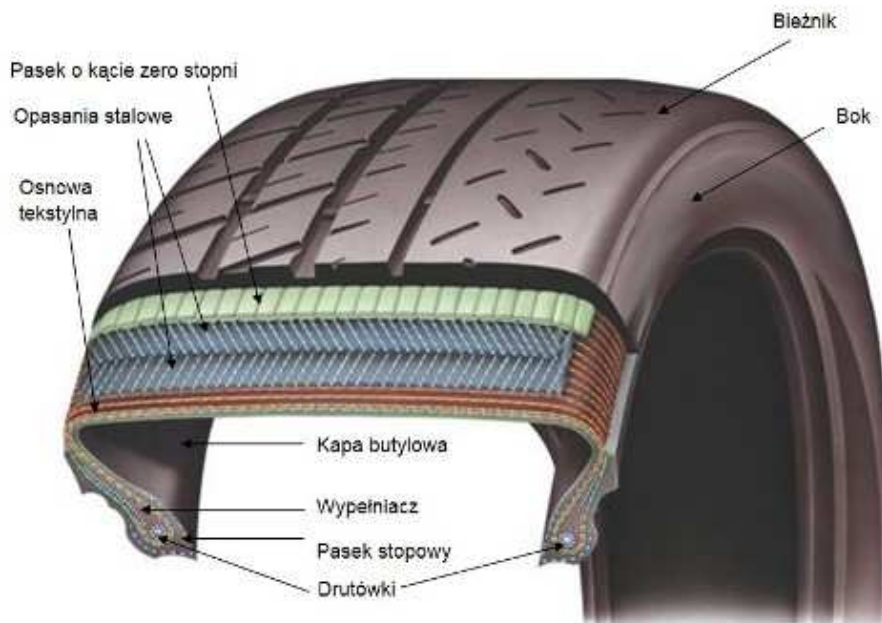
9.1. Założenia wstępne .....	25
9.2. Obliczenia .....	26
9.2.1. Materiały .....	26
9.2.2. Robocizna .....	27
9.2.3. Sprzęt.....	27
9.2.4. Koszty pośrednie .....	27
9.2.5. Zysk.....	27
9.3. Całkowity koszt produkcji 1m <sup>2</sup> maty Stalomech .....	27
<b>10. Stalomech kontra środowisko.....</b>	<b>27</b>
10.1. Przepisy związane .....	27
10.2. Ekologiczne spojrzenie na nasz produkt .....	29
<b>11. Względy ekonomiczne, wielkość rynku zbytu.....</b>	<b>29</b>
<b>12. Analiza barier wejścia.....</b>	<b>32</b>
<b>13. Konkurencyjność i innowacyjność naszego wyrobu .....</b>	<b>33</b>
<b>Spis rysunków.....</b>	<b>34</b>
<b>Spis zdjęć.....</b>	<b>34</b>
<b>Literatura: .....</b>	<b>34</b>

## 1. Wprowadzenie

### 1.1. Pozyskiwanie stali z recyklingu opon

Trudno wyobrazić sobie dzisiejszą motoryzację bez opon. W roku 1846 Robert William Thompson, po pierwszych próbach z wulkanizacją gumy, opatentował dętkową oponę pneumatyczną. Nowoczesna opona jest znacznie bardziej skomplikowana w budowie niż pierwowzór przy zachowaniu tej samej idei, czyli gumy wypełnionej powietrzem, otoczonej kawałkiem tego samego materiału. Całość naciągana jest na obręcz (w początkowej wersji drewnianą, w dzisiejszych czasach - stalową).

Współczesna opona samochodowa cechuje się skomplikowaną konstrukcją. Stanowi ją szereg połączonych ze sobą w procesie wulkanizacji elementów gumowych, tekstylnych oraz stalowych.



RYSUNEK 1 - BUDOWA OPONY SAMOCHODOWEJ[3]

Elementami, w których występuje drut stalowy są opasanie i drutówka. Drutówka dociska gumę opony do obręczy dla maksymalnej wytrzymałości. Każdy drut może wytrzymać do 1800 kg bez ryzyka pęknięcia. Opasanie stalowe jest to element, który w dużej mierze określa wytrzymałość opony. Składa się z niezwykle cienkich i odpowiednio wytrzymałych linek stalowego kordu zatopionych w gumie.

Stale postępujący rozwój motoryzacji na świecie powoduje wzrost zużytych opon. Ze względu na swoją trwałość nie ulegają one degradacji w środowisku naturalnym nawet przez 100 lat i stanowią odpad uciążliwy.





## 1.2. Normy związane z recyklingiem opon

W 2003 roku w Unii Europejskiej powstało 2,6 Mg zużytych opon, w tym w Polsce 136tyś. ton, można szacować, że w roku 2013 liczba ta wzrosnie do 163tyś. ton. Skala procederu jest na tyle wysoka, że Dyrektywy Parlamentu Europejskiego regulują zagospodarowanie tego uciążliwego odpadu:

- Landfill 1999/31/EC od 2003r. zakazuje składowania całych opon, a także od 2006 opon rozdrobnionych.
- End-of-Life Vehicle 2000/53/EC wprowadza nakaz zdejmowania opon z samochodów przed ich złomowaniem
- Waste Incineration 2000/73/EC nakazuje redukcję gazów odlotowych w cementowniach, stosujących opony jako paliwo dodatkowe.

Natomiast w Polsce aktami prawnymi ukazującymi początek recyklingu opon były:

- Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001r., która zakazała składowania całych zużytych opon na wysypiskach.
- Ustawa z dnia 11 maja 2001r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i depozytowej, która nakazała producentom i importerom pojazdów pewien wyznaczony poziom odzysku opon pod groźbą kary.
- Ustawa z 7 lutego 2003r., tzw. „Ustawa czyszcząca” wprowadza ona obowiązek recyklingu opon.
- Ustawa z 30 lipca 2004r. o międzynarodowym obrocie odpadami.

W związku z powyższymi przepisami wynikającymi z wymagań ochrony środowiska konieczne jest wtórne wykorzystanie opon. Istnieje kilka sposobów odzysku wyeksploatowanych opon samochodowych nienadających się do regeneracji przez bieżnikowanie. Należą do nich:

- wykorzystanie całych opon w budownictwie (m.in. drogowym)
- odzysk energii poprzez bezpośrednie spalanie
- recykling materiałowy.

Podstawowym procesem umożliwiającym recykling materiałowy zużytych opon jest ich rozdrabnianie w temperaturze otoczenia. Wstępnie pocięte opony rozdrabniane są za pomocą specjalnych młynów, granulatorów lub walcarek. Miał lub granulat ma nieregularny kształt i rozwiniętą postrzępioną powierzchnię. W celu usunięcia włókien kordu tekstylnego stosuje się separację pneumatyczną, a kawałki metalu usuwa się za pomocą elektromagnesu.

Obecnie nie występuje problem z efektywnym zastosowaniem rozdrobnionych odpadów gumowych z recyklingu opon.

Granulat stosuje się jako składnik do:

- nawierzchni boisk i ścieżek do biegania
- warstw amortyzujących
- różnego rodzaju barier przeciwhałasowych,
- mat izolacyjnych i antypoślizgowych
- oraz w przemyśle kolejowym do układania torów kolejowych i tramwajowych.

Strzępy i chipsy stosuje się w:

- konstrukcjach tuneli
- konstrukcjach przejść podziemnych
- konstrukcjach warstw drenażowych
- a także, jako wypełniacze w elementach konstrukcji budowlanych.

Miał gumowy stosuje się do:

- modyfikacji asfaltu
- produkcji progów zwalniających, słupków i wysepek
- produkcji dywaników samochodowych, wycieraczek, wykładzin w przemyśle motoryzacyjnym, gumowym i chemicznym.

Jak widać odpad gumowy znalazł różnorodne możliwości wykorzystania. Osobno należy rozważyć recykling stali. Ta dziedzina w dalszym ciągu znajduje się na etapie eksperymentów. Druty z opon zazwyczaj przetwarzane są w hutach w celu odzyskania stali. Inne zastosowania znajdują się niestety na etapie badań. Fakt ten powoduje, że na chwilę obecną stal jest ostatnim ogniwiem, które nie jest właściwie zagospodarowane w procesie recyklingu opon. Ma to pewną zaletę. Pozwala to nam, jako studentom stworzenie innowacyjnego zastosowania stali z opon i zaprezentowaniu tego pomysłu Państwu w formie niniejszego referatu.

### 1.3. Opis szczegółowy drutu stalowego

Tematem naszej pracy jest ponowne użycie drutu stalowego odzyskanego z opon pneumatycznych przez firmę ORZEŁ S.A.



ZDJĘCIE 1 - DRUT STALOWY Z RECYKLINGU OPON

W procesie recyklingu mechanicznego odzyskuje się od 150kg (w przypadku opon samochodów osobowych) do 250 kg (w przypadku opon samochodów ciężarowych) stali z 1 tony opon. Jest to stal węglowa wysokiej jakości. Uzyskany produkt składa się w głównej mierze z bardzo cienkich włókien stalowych o średnicy ok. 0,2 mm i długości w granicach 40-100 mm. Włókna te tworzą ze sobą mocno powiązaną strukturę w postaci kłaczek. Miejscami występuje grubszy drut o średnicy ok. 2 mm i długości 60-120 mm oraz zanieczyszczenia gumą i tekstyliami (ok.5-10%).



ZDJĘCIE 2 - SPECYFIKACJA PRÓBKII DRUTU STALOWEGO Z RECYKLINGU

#### 1.4. Problem z powtórny wykorzystaniem drutu stalowego

Najprostszym sposobem ponownego użycia stali jest przetopienie z innymi odpadami stalowymi i wyprodukowanie tzw. wlewek (półfabrykat hutniczy w postaci bloku). Problem stanowią zanieczyszczenia, które powyżej 5% uniemożliwiają użycie tej metody. Należałoby stal oczyścić i poddać dalszej obróbce, co powoduje znaczne zwiększenie kosztów ponownego użycia.

Rozpoczęto również prace nad wykorzystaniem stali odpadowej jako składnik fibrobetonu. Włókna o średnicach pomiędzy 0,05 a 0,3 mm stosuje się jako zbrojenie rozproszone, których główną funkcją jest zmniejszenie koncentracji naprężeń. Ze względu na przyczepność zbrojenia do betonu włókna te powinny być starannie oczyszczone. Kolejną cechą, która przysparza wiele problemów jest ich kształt. Ponieważ są one długie i smukłe, mają tendencję do plątania się i zgniatania, co utrudnia ich równomierne rozproszenie w mieszance betonowej. Dodatkowo podczas procesu mieszania włókna jeszcze bardziej się zwijają, co znacznie obniża urabialność.



## 2. Problem uszkodzeń nawierzchni drogowych

Temat konkursu zainicjował potrzebę zainteresowania się problemem trwałości nawierzchni drogowych. Postępująca degradacja nawierzchni drogowych jest powodowana przez szereg czynników pochodzących zarówno od ruchu pojazdów jak i wpływu środowiska naturalnego charakterystycznego dla danego regionu. Jednym z wielu widocznych efektów degradacji nawierzchni są spękania.

Jest kilka powodów pęknięcia warstw wykonanych z mieszanki mineralno-asfaltowej. Należą do nich m. in. zmęczenie nawierzchni asfaltowej (przekroczenie granicznej nośności na obciążenia wielokrotnie zmienne), naprężenia pionowe i poziome, zmiany temperatury, zmiany wilgotności, zmiany w podłożu gruntowym.

Spękania są zjawiskiem wyjątkowo niekorzystnym dla nawierzchni drogowej, gdyż tworzą nieciągłość warstwy konstrukcji obniżając jej szczelność i odporność na niszczące działanie wody, która w okresie temperatur wahających się w okolicach zera, dostaje się w szczeliny, a następnie zamarza powodując rozrywanie i kruszenie materiału.

Wyróżnia się kilka typów spękań, w zależności od sposobu ich powstawania i miejsca występowania w konstrukcji, do najbardziej powszechnych należą:

- spękania zmęczeniowe, powstają w skutek przekroczenia Stanu Granicznego Nośności nawierzchni asfaltowej. Stan ten określony jest liczbą osi obliczeniowych potrzebnych do zniszczenia struktury nawierzchni. Konstrukcja nawierzchni podczas eksploatacji poddawana jest wielokrotnym obciążeniom zmiennym, o różnej amplitudzie, czasie trwania i intensywności. Powstają często zmieniające się naprężenia ściskające i rozciągające w dolnej strefie warstw asfaltowych. Ta zmienność powoduje męczenie się materiału i inicjację spękań, które po czasie mogą przenosić się także na inne warstwy konstrukcji.
- spękania odbite, są to pęknięcia górnych warstw nawierzchni będące odwzorowaniem uszkodzeń warstw niżej położonych. Nieciągłości, zniekształcenia, ubytki oraz niedokładne zagęszczenie niższych warstw konstrukcji są powodem powstawania lokalnych punktów koncentracji naprężeń rozciągających, które powodują zainicjowanie pęknięcia w warstwie wiążącej. Spękanie to postępuje ku górze powodując zniszczenie warstw mineralno-asfaltowych. Powstają także w przypadku ułożenia warstw asfaltowych na warstwach podbudowy związanych spoiwem hydraulicznym, które ulegają skurczowi technologicznemu. Skutkiem tego są mikrospeknięcia, które pod wpływem obciążenia ruchem samochodowym ulegają powiększeniu. W przypadku podbudowy z betonu cementowego powstają również odkształcenia pionowe pomiędzy sąsiednimi płytami w warstwie podbudowy, co prowadzi do powstania spękań w dole warstw asfaltowych, które po pewnym czasie uwydatniają się na powierzchni drogi z postaci pojedynczego spękania.





- spękania niskotemperaturowe Asfalt jest materiałem reologicznym, którego właściwości są silnie uzależnione od jego temperatury. Warstwy mineralno-asfaltowe przejmują właściwości asfaltu, z którego są wykonane, więc również na ich właściwości lepko-plastyczne ogromny wpływ ma temperatura. W wysokich temperaturach asfalt staje się miękki, co powoduje zwiększenie podatności na koleinowanie, ale jednocześnie wyklucza problem spękań. Temperatury niskie, powodują zwiększenie sztywności oraz kruchości asfaltu, co przekłada się na brak koleinowania, ale jest powodem powstawania spękań, które mogą zostać zainicjowane zarówno przy pojedynczym, gwałtownym spadku temperatury poniżej granicznej określonej dla danej mieszanki (w takiej sytuacji zdolność relaksacji w warstwach MMA jest ograniczona) jak i częstymi zmianami temperatur, przejściami przez zero (zmęczenie temperaturowe).

Innym poważnym problemem nawierzchni drogowych jest powstawanie kolein. Problem powstawania kolein w nawierzchniach asfaltowych jest dość złożony. Na widoczną na powierzchni jezdni koleinę, nakładają się koleiny strukturalne, koleiny plastyczne oraz w niewielkim stopniu koleiny eksploatacyjne powstałe w wyniku ścierania warstwy ścieralnej przez koła samochodów. Koleiny strukturalne są efektem odkształcenia podłoża gruntowego, które odwzorowuje się na wyższych warstwach, a powstała koleina jest dużej szerokości o łagodnych brzegach. Przyczyną tego rodzaju deformacji może być niewłaściwa nośność podłoża, niedowymiarowanie konstrukcji lub niewłaściwy dobór materiałów.

### **3. Rodzaje wzmocnień nawierzchni**

Najbardziej rozpowszechnioną i najczęściej stosowaną metodą wzmacniania podłoża i nawierzchni drogowych w celu uniknięcia spękań i deformacji trwałych jest wykorzystanie geosyntetyków i stalowych siatek zbrojących.

Geosyntetyki służą do wzmocnienia górnej warstwy podłoża gruntowego, stosowane są również przy remontach nawierzchni drogowych, w dolnych warstwach bitumicznych. Stanowią dodatkowe zabezpieczenie przed koleinowaniem i spękaniem odbitymi, przez co zwiększają trwałość konstrukcji drogi. W sztywnych nawierzchniach betonowych stosowane są jako warstwa poślizgowa.

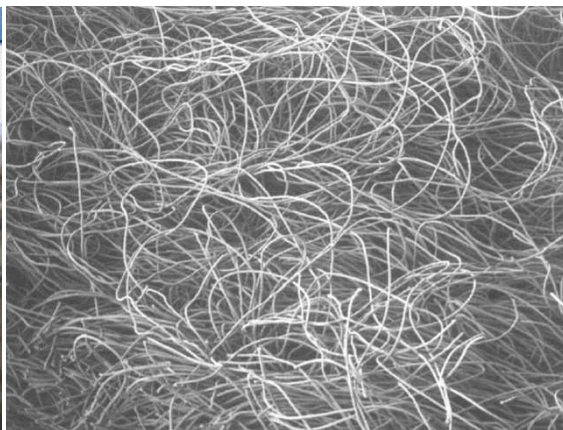
Siatka stalowa jest zazwyczaj stosowana wszędzie tam, gdzie występują niekorzystne warunki i zastosowanie tradycyjnych rozwiązań projektowych i naprawczych nie jest możliwe. Najczęściej używa się ją u podstawy warstw asfaltowych, gdzie standardowo naprężenia rozciągające są największe. Wówczas siatka przejmuje i zdecydowanie zmniejsza ekstremalne naprężenia rozciągające wywołane przez obecność pęknięć odbitych.

## 4. Stalomech

Nasza propozycja na wykorzystanie drutu z recyklingu to stworzenie stalowej maty mającej zastosowanie przy wykonaniu warstwy przeciwspekaniowej. Pomysł ten powstał z usystematyzowania wszystkich cech i posiadanych danych na temat odpadu. Po otrzymaniu próbki zauważyliśmy, że włókna są ze sobą mocno splecione. Jak wcześniej wspomnieliśmy przy próbie zastosowania włókien do betonu ogromną wadą było wzajemne plątanie. W naszym projekcie udało nam się tą wadę przerodzić w zaletę. Innym sprzyjającym czynnikiem był fakt, iż struktura włókien była bardzo podobna do tej stosowanej w geowłókninie.



ZDJĘCIE 3 - DRUT STALOWY



ZDJĘCIE 4 - GEOWŁÓKNINA [13]

Inną zaletą naszego pomysłu jest fakt, że dzięki naszemu zastosowaniu nie będzie problemu z zanieczyszczeniem gumą. Obecnie ogromnym zainteresowaniem cieszy się możliwość wykorzystania miazgi gumowej do modyfikacji lepiszcza asfaltowego stosowanego w drogownictwie, dlatego też resztki odpadu gumowego nie wpłyną negatywnie na jakość naszego produktu.

Po przeprowadzeniu badań (opisano szczegółowo w punkcie 6) w celu uzyskania jak najlepiej dopracowanego rozwiązania warstwy przeciwspekaniowej naszego pomysłu, ostateczna wersja przedstawia się następująco:

- Stalomech, główny element odpowiadający za przeniesienie sił rozciągających, powstaje w wyniku sprasowania stalowego odpadu z opon, który został pokryty asfaltem w celu zwiększenia przyczepności pomiędzy włóknami. Element produkowany jest w zakładzie, a następnie dowożony na miejsce budowy.
- Wypełniacz maty, element odpowiedzialny za obniżenie nieznacznych własności sprężystych oraz nadanie warstwie wytrzymałości na ściskanie. Wypełnienie to będzie stanowić mieszanina wody zarobowej, cementu i piasku o frakcji poniżej 2 mm w proporcjach 1:5. Innym rozwiązaniem wypełniacza będzie odpowiednio zaprojektowana mieszanka mineralno-emulsyjna „Slurry Seal”. Składać się ona będzie z kruszywa 0-2 mm, emulsji kationowej wolnorozpadowej, wody zarobowej do zwilżenia kruszywa w celu uniknięcia jej przedwczesnemu rozpadowi oraz dodatków: cementu portlandzkiego w celu regulowania czasu wiązania zaprawy i chemicznego środka powierzchniowo czynnego, regulującego stabilność mieszanki.

## 5. Zastosowanie

Główne cele stosowania Stalomchu:

- wyeliminowanie występowania spękań zmęczeniowych w konstrukcjach podatnych nawierzchni,
- wyeliminowanie występowania spękań odbitych od podbudowy sztywnej lub innej popękanej warstwy (warstw) o podobnych cechach,
- wyeliminowanie deformacji strukturalnych w miejscach wrażliwych oraz na obszarach przed dylatacjami mostów i wiaduktów,
- wzmocnienie połączenia dwóch nowych, różnych konstrukcji nawierzchni lub konstrukcji starej i nowej
- wzmocnienie przy poszerzeniach drogi

## 6. Opis procesu wykonania próbek wraz z określeniem masy drutu stalowego i emulsji asfaltowej potrzebnej do wykonania 1m<sup>2</sup> Stalomchu.

### 6.1. Próba sprasowania

Pierwszym naszym zadaniem była ocena zachowania się włókien podczas zgniatania w maszynie wytrzymałościowej (do badania wytrzymałości na ściskanie próbek betonowych). Miało to decydujący wpływ na realną szansę realizacji naszego pomysłu. Należało sprawdzić czy podczas tego badania pozwijane ze sobą włókna nie ulegną rozczepieniu oraz ocenić sprężystość całej struktury. Jednak wbrew naszym oczekiwaniom włókna nie uległy rozplątaniu, mało tego zauważyliśmy, że po sprasowaniu próbkę trudniej było rozdzielić w rękach. Stal sprasowana w formie maty grubości 2 cm nie sprężynowała nadmiernie, zatem mogliśmy przeprowadzić kolejne badania w celu uzyskania prototypu naszego produktu.



ZDJĘCIE 5 - MASZYNA WYTRZYMAŁOŚCIOWA



## 6.2. Stworzenie maty

Przy użyciu ręcznych ubijaków Proctora zagęściliśmy próbkę w formie o wymiarach 300x400mm. Przed procesem zagęszczania drutu określiliśmy masę formy stalowej.



ZDJĘCIE 6 - ZAGĘSZCZANIE PRÓBKII

Kolejnym etapem badania było zważenie formy stalowej razem z drutem, po czym obliczenie z różnicy masę drutu stalowego użytego do wykonania próbki 300x400mm ( $0,12m^2$ ) o grubości ok. 1cm. Po zalaniu drutu stalowego emulsją asfaltową i odparowaniu wody zważyliśmy gotową próbkę. Dzięki temu określimy ilość emulsji potrzebnej do wykonania próbki.



ZDJĘCIE 7 - PRÓBKKA ZALANA EMULSJĄ ASFALTOWĄ



### 6.3. Obliczenia masy drutu i potrzebnej emulsji asfaltowej

Badanie wykonaliśmy przy użyciu wagi laboratoryjnej WLC6/12/C1/R o obciążeniu maksymalnym 6kg z dokładnością odczytu 0,1g.



RYSUNEK 2 - WAGA LABORATORYJNA WLC6/12/C1/R [14]

Masa drutu stalowego w próbce:

$$m_{dr} = m_2 - m_1$$

gdzie:

$m_{dr}$  – masa drutu stalowego [g]

$m_2$  – masa formy stalowej wraz z próbką [g],

$m_1$  – masa formy stalowej [g].

$$m_{dr} = 3052,7 - 2377,1 = 675,6 [g]$$

Masa emulsji asfaltowej użytej do wykonania próbki:

$$X = \frac{100 \cdot A}{P}$$

$$A = m - m_{dr}$$

gdzie:

$X$  – masa emulsji użytej w badaniu [g],

$A$  – masa asfaltu w próbce [g],

$P$  – zawartość procentowa czystego asfaltu w stosowanej emulsji [g],

$m$  – masa próbki pokrytej asfaltem [g],

$m_{dr}$  – masa drutu stalowego [g].

$$A = 850,8 - 675,6 = 175,2 [g]$$

$$X = \frac{100 \cdot 175,2}{65} = 269,5 [g]$$

#### 6.4. Sprawdzenie zachowania maty wbudowanej pomiędzy warstwy z MMA

W tym celu wykonaliśmy krążek maty o średnicy 100 mm (średnica próbki Marshalla wynosi 101,6 mm). W formie umieściliśmy wcześniej przygotowaną próbkę Marshalla z MMA pokrytą emulsją asfaltową.



ZDJĘCIE 8 - PRÓBKĄ MARSHALLA POKRYTĄ EMULSIJĄ ASFALTOWĄ

Następnie umieściliśmy krążek maty i ułożyliśmy na niej podgrzaną mieszkankę mineralno-asfaltową do temperatury ok.160°C i zagęściliśmy w ubijaku Marshalla (50 uderzeń ubijaka).



ZDJĘCIE 9 - ZAGĘSZCZANIE W UBIJAKU MARSHALLA

Mata pomiędzy warstwami ugięła się pod wpływem ściskania dwóch warstw MMA na tyle dużo, że należało udoskonalić nasz pomysł.



ZDJĘCIE 10 - PRÓBKA PO WYKONANIU BADANIA

#### 6.5. Wypełnienie maty mieszanką mineralno-emulsyjną

W celu zminimalizowania ugięcia do maty zastosowaliśmy wypełniacz – mieszanina emulsji z piaskiem. Ponownie przygotowaliśmy próbkę Marshalla pokazującą połączenie maty z warstwą nawierzchni asfaltowej. Tym sposobem w bardzo dużym stopniu ograniczyliśmy ugięcie. Dodatkowo połączenie międzywarstwowe uzyskało wysoką szczepność.



ZDJĘCIE 11 - POŁĄCZENIE MMA Z MATĄ WYPEŁNIONĄ MIESZANKĄ MINERALNO-EMULSYJNĄ



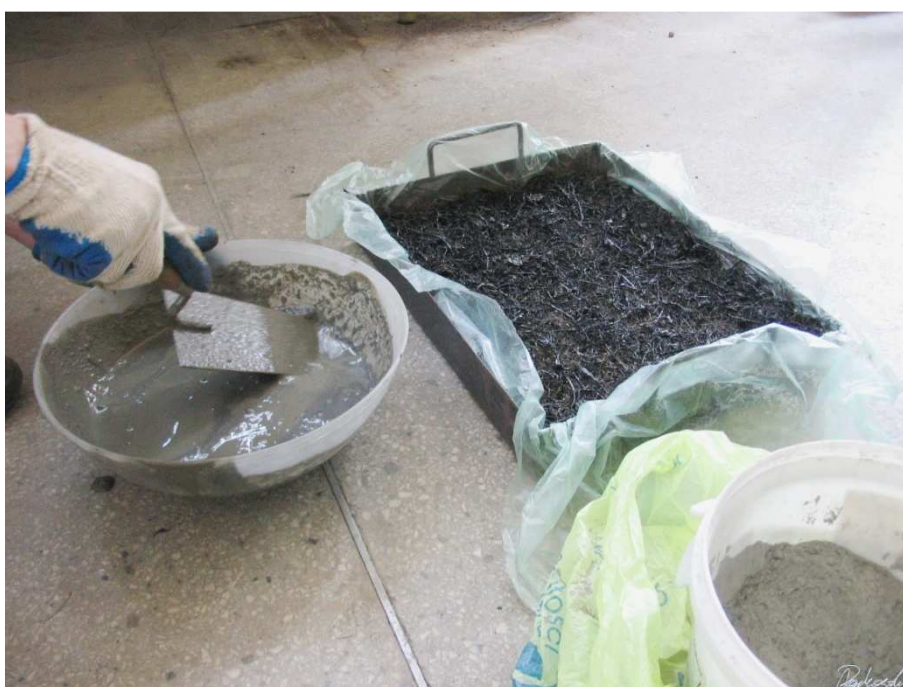
## 6.6. Wypełnienie maty zaprawą cementową

Chcieliśmy również zbadać jakie wyniki uzyskamy podmieniając mieszankę mineralno-emulsyjną na zaprawę cementową. Tak jak w przypadku mieszanki mineralno-emulsyjnej całkowicie ograniczyliśmy ugięcie.



ZDJĘCIE 12 - POŁĄCZENIE MMA Z MATĄ WYPEŁNIONĄ ZAPRAWĄ CEMENTOWĄ

W celu sprawdzenia potrzebnej ilości zaprawy cementowej na 1 m<sup>2</sup>, wcześniej przygotowaną matę zalaliśmy zaprawą cementową 1:5 o konsystencji ciekłej tak, aby wypełnić wszystkie wolne przestrzenie.



ZDJĘCIE 13 - ZALEWANIE MATY ZAPRAWĄ CEMENTOWĄ



Masa zaprawy cementowej w próbce:

$$m_{zc} = m_2 - m_1$$

gdzie:

$m_{zc}$  – masa zaprawy cementowej [g]

$m_2$  – masa formy stalowej wraz z próbką [g],

$m_1$  – masa formy stalowej [g].

$$m_{zc} = 7976,4 - 2622,4 = 5354 \text{ [g]}$$



ZDJĘCIE 14 - STALOMECH WYPEŁNIONY ZAPRAWĄ CEMENTOWĄ

**6.7. Próba wymieszania włókien stalowych z mieszanką mineralno-asfaltową**

W trakcie wykonywania badań chcieliśmy się upewnić czy możliwe jest wymieszanie włókien stalowych z mieszanką mineralno-asfaltową. Tak jak w przypadku fibrobetonu nie dało się równomiernie rozprowadzić drutów w masie – wzajemnie się klinowały. Efektem było niedokładne zagęszczenie MMA.



ZDJĘCIE 15 - ODRZUCONY POMYSŁ MMA Z DODATKIEM WŁÓKIEŃ STALOWYCH

## 7. Wyniki i wnioski końcowe

Oszacowując do wykonania 1 m<sup>2</sup> produktu końcowego potrzebne będą następujące ilości materiałów:

- drut stalowy

$$\frac{675,6}{0,12} = 5630 \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right]$$

- emulsja asfaltowa

$$\frac{269,5}{0,12} = 2246 \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right]$$

Ze względu na użyte materiały, Stalomech uzyskuje dużą trwałość, szacowaną nawet na 20 lat. Produkt ten jest zwarty i wytrzymały, co sprawia, że nie jest podatny na rozrywanie ani ściskanie. Jednocześnie jest elastyczny, odporny na uszkodzenia mechaniczne spowodowane nadmiernym odkształceniem. Dzięki swojej szkieletowej strukturze umożliwia dokładne pokrycie wszystkich stalowych włókien emulsją asfaltową tworząc na nich warstwę izolacyjną, nadającą im odporność na korozyjne działanie wody. Ze względu na swoją nieregularną, chropowatą strukturę Stalomech zapewnia odpowiednie szczerzenie z podbudową oraz warstwami asfaltowymi znajdującymi się powyżej. Dzięki temu nawierzchnia uzyskuje odporność na rozwarstwianie, co znacząco wpływa na trwałość całej konstrukcji. Mimo wszystko, najważniejsze dla utrzymania odpowiedniej trwałości warstwy przeciwpękaniowej z mat Stalomech, jest poprawne ich zastosowanie, wbudowanie w zgodności z wszystkimi wytycznymi.

## 8. Masowa produkcja Stalomchu

### 8.1. Informacje wstępne

Funkcjonalność naszego rozwiązania obejmuje produkcję mat zależną od zapotrzebowania klientów. Proces zakłada możliwość wykonania mat o zmiennej szerokości. Składnikami wyjściowym do produkcji maty są:

- drut stalowy, pozyskany z recyklingu opon
- kationowa emulsja asfaltowa (średniorozpadowa)

Atutem naszego produktu jest prostota rozwiązania wynikająca z małej ilości wymaganych składników.

### 8.2. Proces produkcji

Stalomech wytwarzany jest w sposób ciągły, liniowy na taśmie produkcyjnej. Taki sposób wykonywania wyrobu pozwala uniezależnić cały proces od kształtu końcowego maty (pozostaje możliwość pakowania i dystrybucji produktu końcowego w różnej formie i wymiarach).



### **Etap 1:** Transport i przechowywanie składników

Druty stalowe do produkcji Stalomechu dowożone są z zakładu recyklingu opon do wytwórni za pomocą pojazdów ciężarowych. Składnik zostaje wyładowany przez zsypy, do specjalnych zbiorników/silosów magazynujących. Tam druty przechowywane są w odpowiednich warunkach, aby zapobiec nadmiernej korozji stali.

Emulsja przewożona jest z wytwórni pojazdami wyposażonymi w specjalne zbiorniki do transportu substancji płynnych. Następnie pompowana jest do hermetycznych zbiorników magazynujących.

### **Etap 2:** Rozściełanie warstwy drutu

Druty stalowe prosto z silosów dostają się do maszyny pozwalającej na równomierne rozściełanie warstwy o odpowiedniej grubości i dającej możliwość zmiany szerokości pasma. Dozowanie drutu następuje prosto na przesuwającą się niżej taśmę transportową.

### **Etap 3:** Prasowanie pasma

Kolejnym etapem jest odpowiednie zagęszczenie i ubicie warstwy z drutu stalowego wykonane za pomocą hydraulicznej prasy wielkopowierzchniowej. Przesuwająca się taśma jest automatycznie zatrzymywana w odpowiednich odstępach czasu, następuje sprasowanie z naciskiem ok. 25MPa, po czym taśma rusza dalej. Warstwa w tym procesie ubijana jest w sposób równomierny i dokładny, co pozwala uzyskać najlepsze wyniki.

### **Etap 4:** Nakładanie emulsji asfaltowej

Jednym z ważniejszych elementów procesu produkcji jest właściwe nałożenie emulsji asfaltowej. Najbardziej optymalną metodą jest natryskiwanie jej za pomocą listwy wyposażonej w szereg wysokociśnieniowych dysz spryskujących w sposób rozproszony. Zanim jednak nastąpi nałożenie emulsji, mata drucziana powinna zostać przekazana z taśmy ciągłej, na stalową taśmę w formie rusztu, z otworami pozwalającymi na swobodne odsączanie nadmiaru emulsji do zbiornika znajdującego się pod spodem, skąd będzie pobrana do ponownego wykorzystania. Natryskowy sposób dozowania emulsji pozwala na uzyskanie odpowiedniej intensywności otoczenia włókien maty oraz dokładniejsze kontrolowanie jej zużycia. Ilość natryskiwanej emulsji powinna być optymalnie określona tak, aby możliwie wszystkie włókna maty zostały nią otoczone bez zbędnego nadmiaru, który stanowi problem podczas procesu schnięcia a dodatkowo jest niepożądany ze względów ekonomicznych i technologicznych (nadmierna waga).

### **Etap 5:** Suszenie wstępne

Pokryta emulsją mata powinna zostać wysuszona do stanu, w którym osiąga wystarczającą do dalszej produkcji wytrzymałość na rozciąganie, a jej lepkość nie będzie przeszkadzać w późniejszej obróbce. Materiał nie może być jednak nadmiernie stwardniały, gdyż nabiera wtedy własności sprężystych, co uniemożliwi nadanie ostatecznego kształtu. Do suszenia służy odpowiednio przygotowana, klimatyzowana hala, o temperaturze i wilgotności sprzyjającej przyspieszonemu rozpadowi emulsji. Przez halę mata transportowana jest za pomocą stalowej ażurowej taśmy, umożliwiającej swobodny dopływ powietrza do maty od spodu.

### **Etap 6:** Końcowe walcowanie

Po wstępnym wysuszeniu mata transportowana jest dalej, gdzie zostaje ostatecznie sprasowana do końcowej grubości przez zestaw walców.

### **Etap 7: Suszenie końcowe**

Po walcowaniu, Stalomech zostaje odstawiony do hali opisanej w "Etapie 5" na suszenie końcowe nadające mu ostateczne właściwości.

### **Etap 8: Pakowanie**

Sposób pakowania maty Stalomech zależy od formy produktu końcowego jaka jest przewidziana dla danej partii wyrobu. Przewiduje się dwie opcje:

- Stalomech w postaci rolek
- Stalomech w postaci paneli/mat prostokątnych

W obu przypadkach na gotowy produkt maszynowo zostaje naniesiona przekładka antyadhezyjna z flizeliny. Warstwa ta zapobiega przywieraniu do siebie kolejnych warstw pakowanego materiału.

W pierwszym przypadku, mata zostaje zawinięta maszynowo w walce o średnicy +/- 1m. Kolejnym etapem jest nałożenie arkusza informacyjnego o produkcie, zawierającego nazwę produktu, najważniejsze dane, parametry, rysunki, instrukcje. Na całość zostaje nałożona folia termokurczliwa, która po podgrzaniu szczelnie obejmuje gotowy produkt. W przypadku paneli, maty zostają ułożone na standardowej palecie w stosy o wysokości do 1m. Od góry nakłada się arkusz informacyjny o produkcie. Tak jak w przypadku rolek, stos zostaje objęty folią termokurczliwą.

### **8.3. Badania**

Aby wyrób nadawał się do masowego wykorzystania, powinien spełniać ustalone wymagania dotyczące wytrzymałości, trwałości, podatności na działanie różnych sił (tarcie) oraz bezpieczeństwa stosowania. Po wbudowaniu w konstrukcję nawierzchni, ocenienie tych właściwości staje się niemożliwe, dlatego gotowy produkt, należy poddać szeregowi badań, które jak najdokładniej odwzorowują pracę wyrobu w ostatecznym miejscu jego wbudowania.

Dla Stalomchu przyjęto następujące badania:

Masa powierzchniowa - jest to masa  $1\text{m}^2$  płaskiego wyrobu. Oznaczana jest na podstawie dokładnego ważenia przynajmniej 10 próbek wyrobu.

Grubość pod obciążeniem - wyrobu, jest to odległość między płytką podstawy (na której leży próbka) a powierzchnią równoległej stopki dociskowej, wywierającej określony nacisk na próbkę – 2 kPa, 20 kPa, 200 kPa.

#### Wytrzymałość na rozciąganie (PN-EN ISO 10319)

W badaniu metodą szerokich próbek, próbkę do badań, o szerokości nominalnej 200 mm i długości efektywnej 100 mm, zamocowuje się w zaciskach maszyny wytrzymałościowej i rozciąga ze stałą prędkością wydłużenia aż do zerwania. Z badania otrzymuje się wykresy "obciążenie - wydłużenie względne", na podstawie, których określa się: średnią siłę zrywającą, średnie wydłużenie względne, średnią wytrzymałość oraz moduły sieciowe odpowiadające wydłużeniom: 2 %, 5 % i 10%.





### Wytrzymałość połączeń na rozciąganie (PN-EN ISO 10321)

Próbkę zawierającą połączenie, mocuje się w zaciskach maszyny wytrzymałościowej i poddaje się działaniu siły rozciągającej aż połączenie/szew wyrobu ulegnie zniszczeniu.

Na podstawie badania określa się:

- wytrzymałość na rozciąganie połączenia lub szwu,
- wytrzymałość względną połączenia/szwu (stosunek wytrzymałości na rozciąganie połączenia do wytrzymałości na rozciąganie wyrobu wg PN-EN ISO 10319).

### Pełzanie przy rozciąganiu (PN-EN ISO 13431)

Próbkę poddaje się stałemu obciążeniu rozciągającemu w czasie 1000 lub 10000 godzin, a wydłużenie notuje. Badania przeprowadza się pod różnymi obciążeniami (cztery poziomy spośród: 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% i 60% wytrzymałości na rozciąganie) i jeśli jest wskazane to w różnych temperaturach.

### Pełzanie przy ściskaniu (PN-EN ISO 25619)

Próbki wyrobu poddawane są normalnemu obciążeniu ściskającemu lub kombinacji obciążenia ściskającego i ścinającego. Podczas badania trwającego minimum 1000 godzin, notowane są zmiany grubości materiału na skutek zadawania obciążenia (20, 50, 100 i 200 kPa) w przedziałach czasowych: 1, 2, 4, 15, 30, 60 minut, 2, 4, 8, 24 godziny i 2, 4, 7, 14, 28, 42 dni.

### Tarcie (PN-EN ISO 12957-1)

Przy danej prędkości przesuwu jednej skrzynki względem drugiej, dla każdego zadanego obciążenia normalnego, określa się zależność "naprężenie ścinające – odkształcenie", oraz oblicza się wartość współczynnika tarcia jako stosunek kąta tarcia na styku "wyrób – grunt" do kąta tarcia wewnętrznego gruntu.

### Uszkodzenie podczas wbudowywania (PN-EN ISO 10722)

Próbkę wyrobu układa się pomiędzy dwiema warstwami materiału ziarnistego, a następnie poddaje dynamicznemu obciążeniu cyklicznemu. Po badaniu próbkę poddaje się wizualnej kontroli zniszczenia i badaniom na rozciąganie w celu określenia zmian właściwości mechanicznych wyrobu.

### Odporność na uderzenie (PN-EN 13428)

Badanie wskaźnikowe, które polega na uderzeniu ze znaną energią, sztywnym próbnikiem o masie 1kg z głowicą w kształcie półkulistym, próbki wyrobu ułożonej na sztywnej podstawie. Po jednorazowym upuszczeniu próbniaka (z wysokości 1m) dokonuje się pomiaru zmiany grubości cienkiej ołowianej płytki ułożonej między próbką a podstawą.



#### 8.4. Innowacyjne badanie - wytrzymałość na rozciąganie próbki zalanej cementem i pokrytej MMA

##### Cel badania

Badanie służy określeniu wpływu obecności maty Stalomech na wytrzymałość na rozciąganie górnych warstw konstrukcji nawierzchni. Określa przydatność produktu do użycia jako warstwę przeciwspekaniową.

##### Przygotowanie próbek

Badanie wykonuje się na próbkach o szerokości 250mm (b) i długości 400mm (l). Należy przygotować matę Stalomech o w/w wymiarach, następnie zalać formę z matą zaprawą cementową w wysokości równej grubości maty - 1cm (g). Tak przygotowaną próbkę pozostawia się do związania i stwardnienia na 48h ± 2h. Kolejnym etapem jest skropienie emulsją asfaltową (ilość asfaltu po odparowaniu wody z emulsji powinna wynosić 0,3 - 0,5 kg/m<sup>2</sup>) powierzchni próbki. Po odczekaniu 1h układa się na macie warstwę mineralno-asfaltową grubości 50mm ± 2mm i zagęszcza się zagęszczarką płytową tak, aby wskaźnik zagęszczenia wynosił 98%.

##### Wykonanie badania:

Przygotowaną wcześniej próbkę zamocowuje się w zaciskach maszyny wytrzymałościowej i rozciąga ze stałym przyrostem siły rozciągającej aż do pęknięcia warstwy mineralno-asfaltowej.

##### Obliczenia:

Graniczne naprężenie rozciągające oblicza się ze wzoru:

$$R_t = \frac{F_t}{b \cdot g}$$

gdzie:

- $R_t$  - graniczne naprężenie rozciągające (MPa)
- $F_t$  - graniczna siła rozciągająca (N)
- $b$  - szerokość próbki (mm)
- $g$  - grubość próbki (mm)

##### Wyniki:

Wynik uznaje się za pozytywny, jeśli wytrzymałość próbki na rozciąganie jest przynajmniej dwukrotnie wyższa niż wytrzymałość próbki o tych samych wymiarach wykonanej wyłącznie z MMA.



## 8.5. Badania na placu budowy

Przed przystąpieniem do układania, wykonawca powinien sprawdzić ważność Aprobaty Technicznej wyrobu oraz wizualnie ocenić jego wygląd. Mata powinna być bez uszkodzeń, o równomiernej strukturze. Odchyłka szerokości pasma nie powinna przekraczać  $\pm 2\%$  wymiaru nominalnego.

Przed przystąpieniem do wykonania robót należy kontrolować równość i uzupełnienie ubytków oraz dokładność oczyszczenia podłoża pod maty.

Po ułożeniu warstwy przeciwspekaniowej należy przeprowadzić kontrolę jakości jej wykonania. Kontrola ta polega na m.in.:

- sprawdzeniu poprawności wykonania połączeń
- wizualnej ocenie przylegania kompozytu do podłoża przed ułożeniem na nim warstwy betonu asfaltowego.

## 8.6. Transport i składowanie

### 8.6.1. Podstawowe zalecenia dotyczące transportu

1. Maty Stalomech przeznaczone do wykonania warstwy przeciwspekaniowej mogą być transportowane dowolnymi środkami transportu pod warunkiem:
  - fabrycznego opakowania rolek wodoszczelną folią, zabezpieczoną przed rozwinięciem,
  - zabezpieczenia opakowanych rolek przed przemieszczaniem się w czasie przewozu,
  - ochrony rolek przed zawilgoceniem, działaniem promieni słonecznych, działaniem ognia lub promieniowania cieplnego powodującego nadmierne nagrzanie powierzchni
  - niedopuszczenia do kontaktu rolek z chemikaliami, tłuszczami oraz przedmiotami mogącymi zniszczyć wyrób.
2. Rozładunek może odbywać się ręcznie lub z użyciem mechanicznego sprzętu rozładującego.
3. Każdą nadesłaną partię mat Stalomech po rozłożeniu w miejscu wbudowania, należy poddać oględzinom w celu sprawdzenia, czy wyrób nie ma widocznych wad i uszkodzeń, które mogły powstać w procesie wytwarzania i transportu.

### 8.6.2. Podstawowe zalecenia dotyczące składowania

1. Maty należy składować tak, aby nie narażać ich na jakiegokolwiek uszkodzenia.
2. Powinny być chronione przed bezpośrednim działaniem czynników atmosferycznych i przechowywane w pomieszczeniach zaciemnionych oraz zadaszonych.
3. Istnieje możliwość składowania wyrobów na wolnym powietrzu jedynie w przypadku, gdy będą one wykorzystane do budowy w krótkim okresie czasu.
4. W trakcie przenoszenia rolek materiału należy unikać ciągnięcia ich po podłożu, gdyż może spowodować to uszkodzenie opakowania lub samego wyrobu.



## **8.7. Wbudowanie**

### **8.7.1. Przygotowanie podłoża**

- Przed ułożeniem wyrobu, z powierzchni gruntu należy usunąć wszystko, co mogłoby spowodować uszkodzenie wyrobu.
- Wierzchnia warstwa podłoża powinna być dokładnie wyrównana i charakteryzować się jednakowym zagęszczeniem i wilgotnością.
- Zaleca się ograniczenie przygotowywanej powierzchni do wielkości, która może być przykryta matami Stalomech w ciągu maksymalnie trzech dni.
- W przypadku zalewania Stalomchu mieszanką mineralno-emulsyjną "Slurry Seal", wyrównana i oczyszczona powierzchnia powinna zostać skropiona emulsją asfaltową, w celu lepszego połączenia mat z podłożem.

### **8.7.2. Układanie mat przeciwspekaniowych**

- Układanie wyrobu należy rozpocząć po całkowitym rozpadzie emulsji (w przypadku stosowania "Slurry Seal") - po przeschnięciu warstwy skropienia do takiego stopnia, gdy jest lekko klejąca.
- Kompozyt powinien maksymalnie przylegać do podłoża
- Maty w formie rolek mogą być rozwijane ręcznie lub za pomocą specjalnego sprzętu mocowanego do zwykłych maszyn budowlanych
- Należy rozwijać tyle rolek ile zostanie wbudowanych tego samego dnia.
- Wyrób powinien być rozłożony równomiernie na długości.
- Wszystkie połączenia pomiędzy matami powinny być wykonane metodą klamrowania. Polega ona na umieszczeniu na stykach między matami specjalnych klamer spinających i dociskających do siebie sąsiednie maty.

### **8.7.3. Zalanie mat zaprawą cementową**

Po ułożeniu warstwy Stalomchu, należy równomiernie zalać ją zaprawą cementową o stosunku cementu do piasku 1:5, na wysokość równą grubości maty. Należy zwrócić uwagę, że konsystencja zaprawy powinna być wystarczająco płynna, aby wypełnione zostały wolne przestrzenie maty. Badania wykazały, że warstwa betonu obniża sprężystość warstwy przeciwspekaniowej, znacznie poprawiając jej właściwości.

Po zalaniu warstwę należy pozostawić do osiągnięcia wystarczającej wytrzymałości na ściskanie (ok. 2 dni).

### **8.7.4. Zalanie mat odpowiednio zaprojektowaną mieszanką mineralno-emulsyjną "Slurry Seal"**

Po ułożeniu warstwy Stalomchu, należy równomiernie zalać ją odpowiednio zaprojektowaną mieszanką mineralno-emulsyjną "Slurry Seal". Zawartość emulsji powinna być tak dobrana, aby mieszanka możliwie wypełniła jak najwięcej wolnych przestrzeni. Mieszanka mineralno-emulsyjna powinna być wytwarzana na miejscu jej wbudowania w specjalnej maszynie spełniającej rolę wytwórni i układarki. Mimo że warstwa z „Slurry Seal” nie wymaga dogęszczenia to w celu wypełnienia maty powinno się ją możliwie szybko zagęścić, ponieważ emulsja asfaltowa ulega bardzo szybkiemu rozpadowi.





### 8.7.5. Wykonanie warstwy przykrywającej

- Warstwę przeciwspekaniową należy pokryć mieszanką mineralno-asfaltową na gorąco na grubości co najmniej 4 cm. Podczas układania tej mieszanki należy kontrolować jej temperaturę w celu uniknięcia uszkodzeń termicznych wyrobu.
- Przed ułożeniem warstwy bitumicznej należy sprawdzić dokładnie poprawność ułożenia mat przeciwspekaniowych.
- Z warstwy przykrywającej należy usunąć wszystko, co mogłoby spowodować uszkodzenie mat.
- Materiał na warstwę przykrywającą nie powinien być zrzucany z wywrotek z dużej wysokości w całości bezpośrednio na ułożony kompozyt.
- Nie dopuszcza się ruchu samochodów bezpośrednio po ułożonej warstwie kompozytu za wyjątkiem samochodów dowożących mieszankę mineralno-asfaltową. Powinny one jeździć powoli, unikając gwałtownych skrętów, hamowań i przyśpieszeń.

## 9. Koszty masowej produkcji Stalomchu

### 9.1. Założenia wstępne

Opracowano na podstawie katalogu "BISTYP consulting" na I kwartał 2013.

$M+R+S+K_p+Z = 100\%$  kosztów produkcji wyrobu

gdzie:

- M - materiały
- R - robocizna
- S - sprzęt
- $K_p$  - koszty pośrednie
- Z – zysk

Według katalogu przyjęto, że koszt materiałów stanowi **50%** całości kosztów produkcji wyrobu.

Pozostałe **50%** stanowi robocizna, koszty utrzymania sprzętu, koszty pośrednie i założony zysk, w odpowiednio ustalonych proporcjach.

Stosunek kosztów sprzętu do robocizny: **2:3**

$$K_p = 64,4\% \cdot (R+S)$$

$$Z = 11,3\% \cdot (R+S+K_p)$$

## 9.2. Obliczenia

$$M+R+S+K_p+Z=100\%$$

$$50\%+R+S+0,644\cdot(R+S)+0,113\cdot(R+S+K_p)=100\%$$

$$50\%+R+S+0,644\cdot(R+S)+0,113\cdot[R+S+0,644\cdot(R+S)]=100\%$$

$$1,829772\cdot R+1,829772\cdot S=50\%$$

$$1,829772\cdot(R+S)=50\%$$

$$(R+S)=\mathbf{27,32\%}$$

$$\frac{S}{R} = \frac{2}{3}$$

$$\mathbf{R=16,39\%}$$

$$\mathbf{S=10,93\%}$$

$$\mathbf{K_p=0,664\cdot 27,32=17,60\%}$$

$$\mathbf{Z=0,113\cdot(27,32\%+17,60\%)=5,08\%}$$

### 9.2.1. Materiały

Na 1m<sup>2</sup> wyrobu potrzebne są materiały w ilości:

- 5,630kg drutu z recyklingu
- 2,246kg emulsji asfaltowej średniorozpadowej

Ceny materiałów:

- **druty z recyklingu opon - 300zł/t = 0,30zł/kg**

Prezes Zarządu ORZEŁ S.A poinformował nas, że cena sprzedaży stali do huty nie przekracza 100 €/tonę; drut stalowy kwalifikuje się jako złom stalowy klasy W-13, którego cena skupu wynosi 0,64 zł/kg (źródło - Przedsiębiorstwo Przerobu Żłomu Metali SEGROMET Sp. z o.o.; Sokołów Podlaski), jednak z powodu zanieczyszczenia gumą bardzo traci na wartości.

W Internecie pojawia się wiele ofert sprzedaży tego odpadu po znacznie niższych cenach np.: 170 zł za tonę (ogłoszenie sprzedaży w portalu metale24.pl z dnia 26.02.2013).

- **emulsja kationowa średniorozpadowa C50B3 1 650zł+VAT/t = 2029,5zł/t = 2,03zł/kg**

źródło - POLDIM SPÓŁKA AKCYJNA; Tarnów, *podstawowy katalog kationowych emulsji asfaltowych z cennikiem obowiązującym od dnia 03.10.2011r.*

Koszt materiałów zużytych na wyprodukowanie 1m<sup>2</sup> maty Stalomech:

- drut z recyklingu:  $5,630 \cdot 0,30 = 1,69\text{zł}$
- emulsja asfaltowa:  $2,246 \cdot 2,03 = 4,28\text{zł}$

Koszt całości materiałów: 5,97zł/m<sup>2</sup>, co daje 50% kosztów produkcji całego wyrobu.

**9.2.2. Robocizna**

Obliczono, że robocizna stanowi 16,39% całości kosztów produkcji wyrobu. Co daje **1,96zł/m<sup>2</sup>**.

**9.2.3. Sprzęt**

Obliczono, że koszty utrzymania sprzętu stanowią 10,93% całości kosztów produkcji wyrobu. Co daje **1,31zł/m<sup>2</sup>**.

**9.2.4. Koszty pośrednie**

Obliczono, że koszty pośrednie stanowią 17,60% całości kosztów produkcji wyrobu. Co daje **2,10/m<sup>2</sup>**.

**9.2.5. Zysk**

Obliczono, że zysk stanowi 5,08% całości kosztów produkcji wyrobu. Co daje **0,60zł/m<sup>2</sup>**.

**9.3. Całkowity koszt produkcji 1m<sup>2</sup> maty Stalomech**

$$M+R+S+K_p+Z=5,97+1,96+1,31+2,10+0,60=11,94\text{zł/m}^2$$

Całkowity koszt produkcji wynosi: 11,94zł/m<sup>2</sup>.

## **10. Stalomech kontra środowisko.**

W dzisiejszych czasach wizja zagłady środowiska ciąży nad społeczeństwem, liczba odpadów a w tym także śmieci wzrasta. Zwiększenie urbanizacji świata pociąga za sobą degradację środowiska naturalnego, dlatego w dzisiejszym świecie nie tylko innowacyjny pomysł oraz aspekt finansowy jest istotny. Świadomość środowiskowa ludzi w ciągu ostatnich lat wzrosła, a wpływ na efekt końcowy produktu ma ekologiczność a także recykling materiałów. Wszystko to sprowadza się do faktu, iż przepisy związane z wprowadzeniem produktu na rynek zaostwiają się. Gospodarka Polski i Unii europejskiej zakłada racjonalne gospodarowanie odpadami, w tym powtórne wykorzystanie w procesie recyklingu.

### **10.1. Przepisy związane**

Aktualnie wyroby budowlane w Unii Europejskiej objęte są Dyrektywą 89/106/EEC, jednakowoż przepisy te już wkrótce ulegną zmianie zastąpione przez Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011. Ustanawia ono zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych. Rozporządzenie to jest aktem wiążącym i musi być stosowane w każdym państwie członkowskim. Większość jego postanowień wejdzie w życie 1 lipca 2013.



Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 stanowi:

- *(32) Oznakowanie CE powinno się umieszczać na wszystkich wyrobach budowlanych, dla których producent sporządził deklarację właściwości użytkowych zgodnie z niniejszym rozporządzeniem. W przypadku niesporządzenia deklaracji właściwości użytkowych oznakowania CE umieszczać nie należy.*
- *(33) Oznakowanie CE powinno być jedynym oznakowaniem potwierdzającym zgodność wyrobu budowlanego z deklarowanymi właściwościami użytkowymi i z mającymi zastosowanie wymaganiami związanymi z prawodawstwem harmonizacyjnym Unii. Można jednak stosować inne oznaczenia, o ile pomagają one zwiększyć ochronę użytkowników wyrobów budowlanych i nie są objęte istniejącym prawodawstwem harmonizacyjnym Unii.*

Według załącznika nr I Rozporządzenia występuje siedem wymagań dotyczących Obiektów budowlanych jako całości oraz ich części:

1. *Nośność i stateczność*
2. *Bezpieczeństwo Pożarowe*
3. *Higiena, zdrowie i środowisko*
4. *Bezpieczeństwo użytkowania i dostępność obiektów*
5. *Ochrona przed hałasem*
6. *Oszczędność energii i izolacyjność cieplna*
7. *Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych. (W tym w szczególności interesujące nas w tej pracy wykorzystanie materiałów wtórnych).*

Europejskie aprobaty techniczne (ETA) pozwalają na wydanie certyfikatu CE wyrobów budowlanych (jest on obowiązkowy). Zgodnie z przepisami nasz produkt będzie musiał przejść szereg analiz by uzyskać powyższe oznaczenie. Po tym zabiegu będzie mógł być wykorzystywany na terenie Europejskiego Obszaru Gospodarczego. Symbol ten udowodni potencjalnemu nabywcy, że Stalomech spełnia szczegółowe wymagania ustalone na terenie Unii Europejskiej.

Równoległe do Europejskich praw w Polsce obowiązują także ustawy:

- Ustawa o Prawie Budowlanym,
- Ustawa o Wyrobach budowlanych,
- Ustawa o Systemie Oceny Zgodności.

Jako wytyczne w procesie produkcji, transportu, oraz wbudowania należy użyć wcześniej opracowanych Szczegółowych Specyfikacji Technicznych, opartych na podstawie Ogólnych Specyfikacji Technicznych.



## 10.2. Ekologiczne spojrzenie na nasz produkt

W związku z wyżej wymienionymi przepisami Unii Europejskiej nasze rozwiązanie idealnie wpisuje się w nisze, która jeszcze nie została w żaden sposób zagospodarowana. Z powodu wszystkich praw, które normują recykling opon gumowych (przytoczonych w punkcie 1.2), możemy przypuszczać, iż wielkość niezagospodarowanego odpadu (drułu stalowego) jest bardzo duża. Tylko firma ORZEŁ S.A. rocznie produkuje 2,5-3 tys. ton stali.

Jak już wcześniej objaśnialiśmy Stalomech jest produktem wynikającym z pełnego recyklingu drutu z opon, która wcześniej nie była w żaden konstruktywny sposób wykorzystywana. Stosowany jako warstwa pośrednia pomiędzy podbudową a warstwą wiążącą mata będzie całkowicie odseparowana od środowiska tym samym nie będzie mogła go w żaden sposób zanieczyścić. Sytuacja przedstawia się podobnie w innych zastosowaniach prefabrykatu przedstawionych wcześniej w punkcie (5).

Emulsja kationowa, którą użyjemy w naszym produkcie także zakłada minimalizację negatywnego wpływu na środowisko. W odróżnieniu od innych lepiszczy stosowanych na zimno nie zawiera ona rozpuszczalnika, który podczas wiązania odparowuje zanieczyszczając atmosferę węglowodorami. Jest to nie tylko stosunkowo ekologiczna opcja, wybraliśmy ją także ze względu na jej ekonomiczny wymiar w całym przedsięwzięciu.

Warto dodać, że obecnie 40% energii elektrycznej zużywane jest w budownictwie, co powoduje, iż emisja gazów cieplarnianych sięga na tym polu 35%. Dlatego też mata jako prefabrykat wykonywany w całości na hali produkcyjnej jako prefabrykat wychodzi temu zagadnieniu naprzeciw, ograniczając zarówno energie, jak i czas wbudowania go na budowie.

## 11. Względy ekonomiczne, wielkość rynku zbytu

Z kalkulacji kosztów naszej maty ściśle wynika iż 1m<sup>2</sup> będzie kosztował 11,94 zł. Stanowi to poważną konkurencję dla innych wyrobów na tym polu, gdyż np. 1m<sup>2</sup> geosyntetyku standardowego producenta o podobnych zastosowaniach na chwilę obecną kosztuje w przybliżeniu 15zł. Umożliwia to w przypadku naszego produktu zastosowanie go na szeroką skalę.

Na wielkość rynku zbytu naszego produktu wpływają także inne czynniki takie jak:

- jakość towaru,
- uzyskanie certyfikatu CE,
- indywidualne preferencje użytkowników,
- popularność danego rozwiązania,
- względy ekologiczności,
- działania konkurencji.

Zysk wzrasta, wraz ze wzrostem popytu na dany produkt, ważnym punktem w tym procesie są działania marketingowe, które umożliwią dotarcie do jeszcze większej liczby odbiorców. Na promocje naszego wyrobu duży wpływ będzie miała nazwa produktu a także logo (jest ono obrazem równowagi, która występuje pomiędzy środowiskiem a naszą stalową matą).

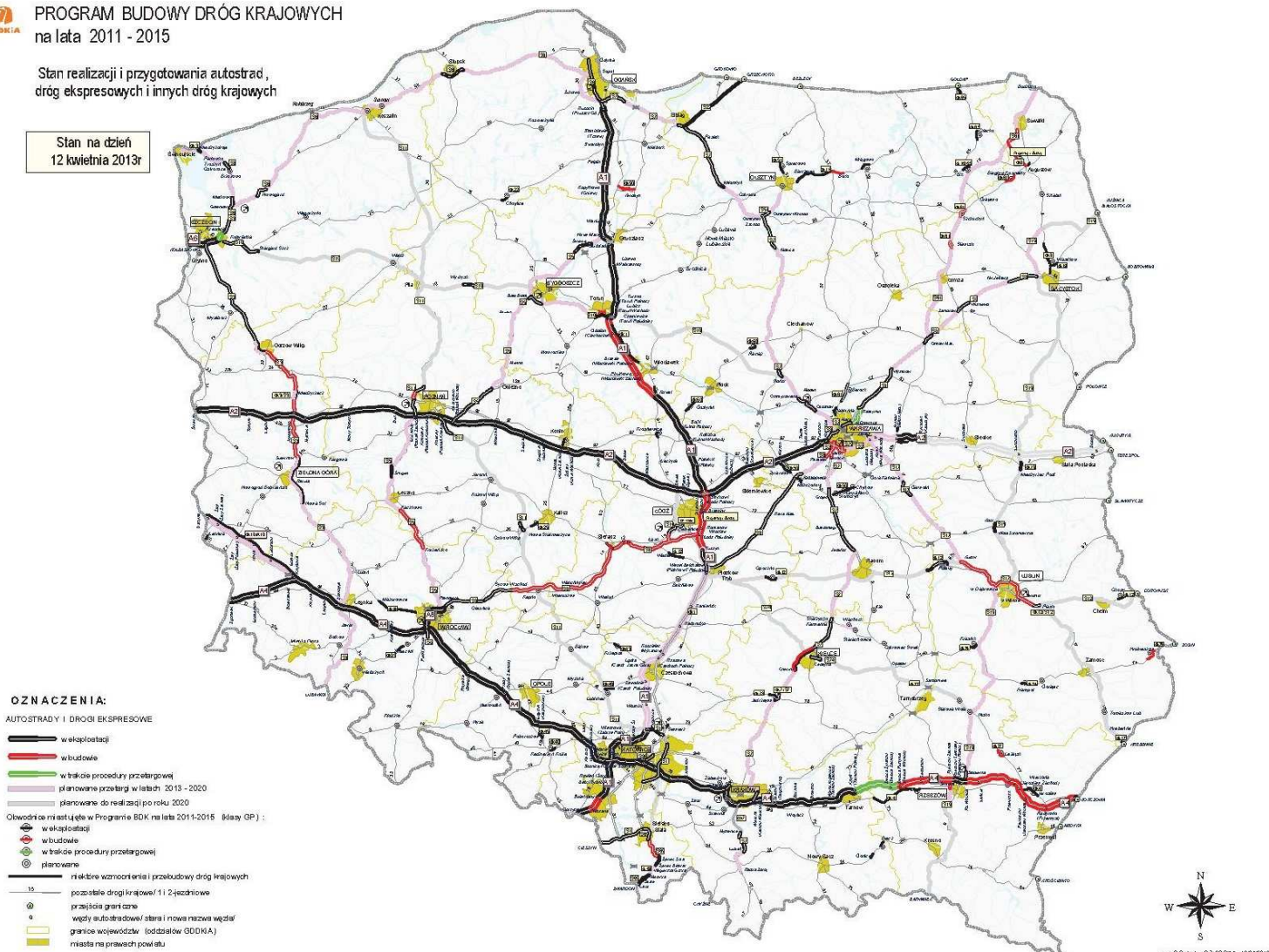
Jednak przed wypuszczeniem na rynek Stalomechu należałoby zweryfikować liczbę odbiorców poprzez badania rynkowe (analizę rynkową bezpośrednią lub pośrednią).

Biorąc pod lupę analizę pośrednią (na podstawie danych statystycznych) według GDDKiA program budowy dróg Krajowych na lata 2011-2015 przedstawia się w następujący sposób:

**PROGRAM BUDOWY DRÓG KRAJOWYCH  
na lata 2011 - 2015**

Stan realizacji i przygotowania autostrad,  
dróg ekspresowych i innych dróg krajowych

Stan na dzień  
12 kwietnia 2013r



**RYSUNEK 3 - PROGRAM BUDOWY DRÓG KRAJOWYCH NA LATA 2011-2015 [20]**

Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad w styczniu 2011r. wydała dokument pt.: „Prognoza oddziaływania na środowisko skutków realizacji Programu Budowy Dróg Krajowych na lata 2011 – 2015”. Dokument ten przedstawia zarówno nowoprojektowane autostrady, drogi ekspresowe i krajowe oraz przebudowy i wzmocnienia istniejących już dróg.

Zadania w Programie podzielono na:

- Zadania inwestycyjne, których realizacja rozpocznie się do 2013 r. (lista tych zadań stanowi Załącznik Nr B1 do niniejszego opracowania);
- Zadania inwestycyjne, których realizacja może zostać rozpoczęta do 2013 r. (lista tych zadań stanowi Załącznik Nr B1a do niniejszego opracowania);
- Zadania, których realizacja przewidywana jest po roku 2013 (lista tych zadań stanowi Załącznik Nr B2 do niniejszego opracowania).



Lista ta jest długa i zawiera 213 pozycji. Inwestycje te aktualnie znajdują się na różnym etapie zaawansowania, jednak wielość i różnorodność tych przedsięwzięć może świadczyć o tym, że wzmocnienia takie jak Stalomech będą musiały być wykorzystane przy realizacji przynajmniej niektórych projektów.

Raport „Polska 2030. Wyzwania rozwojowe” zawiera także proponowane 3 fazy rozwoju:

- *etap pierwszy do 2012/2013 r., w którym inwestycje skupią się głównie na infrastrukturze drogowej, korzystając z już dostępnych środków unijnych (a komplementarnie – ze środków krajowych, np. z długoterminowych obligacji infrastrukturalnych);*
- *etap drugi do 2020 r. w nowym okresie programowania UE inwestuje uzupełniająco w drogi, ale głównie w rozwój kolei z pozyskanych środków europejskich oraz w multimodalną komunikację w obrębie szerokiego pasma suburbiów (ok. 60–70 km od aglomeracji) – a także z pomocą środków prywatnych w rozwój infrastruktury lotniczej;*
- *etap trzeci do 2030 r. inwestuje – ze środków, których źródła trzeba dopiero zidentyfikować – w dalsze zwiększanie dostępności transportowej.*

Innym dokumentem jest także Raportu NIK : „Informacja o wynikach kontroli bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce” (Warszawa, marzec 2011). Wynika z niego jasno, że u podstawy braku bezpieczeństwa na drogach w Polsce stoi zły stan infrastruktury drogowej.



RYSUNEK 4 - PRZYCZYNY ZŁEGO STANU BEZPIECZEŃSTWA DROGOWEGO [26]

Stan techniczny dróg krajowych na rok 2009 według raportu przedstawia się następująco:

- *Pęknięcia nawierzchni na 13,3% dróg*
- *Nierówna nawierzchnia na 11,2% dróg*
- *Koleiny na 23,7% dróg*
- *Złe właściwości przeciwpoślizgowe na 21,9% dróg*
- *Co czwarty obiekt mostowy w złym stanie technicznym*



Z powyższych danych można przypuszczać, że, przez co najmniej kilka następnych lat Polska będzie inwestować w rozwój dróg (zarówno poprzez budowę nowych, jak i remonty czy też modernizację starych) co wiąże się bezpośrednio z koniecznością użycia wzmocnień takich jak np. Stalomech.

## 12. Analiza barier wejścia

Nasza branża cechuje się stosunkowo wysokimi barierami wejścia. Nie należy ukrywać, że produkty o podobnych właściwościach wytwarzane są aktualnie przez duże i renomowane firmy. Próba wprowadzenia nowego produktu może skończyć się kompletnym fiaskiem jak również ma szansę zyskania sobie rzeszy klientów. Z punktu wejścia na rynek istotne są również bariery formalne. Nasz produkt będzie potrzebował czasu i środków finansowych by móc uzyskać niezbędne do rozpowszechniania certyfikaty i koncesje.

Niewątpliwym problemem jest skala przedsięwzięcia. Budownictwo drogowe zajmuje się obiektami o bardzo dużych powierzchniach, oznacza to ogromne zapotrzebowanie na materiały. Aby dany produkt był możliwy do zastosowania musi posiadać zaplecze technologiczne pozwalające na jego produkcję w masowej skali. Duża produkcja wyrobu prowadzi też do obniżenia cen jednostkowych, a więc zwiększenia konkurencyjności rozwiązania. Jednak barierą w tym przypadku są wysokie koszty początkowe, związane ze stworzeniem nowoczesnej linii produkcyjnej, magazynów, zapewnienia odpowiednich warunków dystrybucji, zatrudnienia wykwalifikowanych kadr. Występuje, więc ryzyko, że po zainwestowaniu dużych pieniędzy na start, produkt okaże się porażką i przegra w walce z konkurencyjnymi rozwiązaniami.

Jednym z największych barier wejścia na rynek może być także brak zaufania wśród firm zajmujących się budową dróg. Duże przedsiębiorstwa są bardzo mocno przywiązane do swoich dostawców, niechętnie decydują się na zmiany wiążące się z ogromnymi kosztami i wieloma zmianami formalnymi. Problemem jest przekonanie ich, że nasz produkt jest warty poświęcenia nakładów, gdyż później odwdzięczy się dużo lepszymi właściwościami, trwałością a także przyniesie wysokie korzyści ekonomiczne.

W ten sposób dochodzimy do kolejnej bariery - problemu wyrobienia marki. Często branże są zmonopolizowane przez jeden produkt, który jest znany, ceniony. Posiada wyrobioną markę, która będąc na fali popularności generuje ogromne przychody pomimo widocznych wad i uchybień. Niestety konkurencja z takim produktem jest bardzo trudna, czasem nawet niemożliwa.



### **13. Konkurencyjność i innowacyjność naszego wyrobu**

Kraje rozwijające się muszą uważać na odzysk materiałów, sugeruje to nie tylko polityka Unii Europejskiej, ale także naszego kraju. Stalomech jako produkt z recyklingu powinien zainteresować ludzi swoją funkcjonalnością przy jednoczesnym wsparciu środowiska.

Zarówno w Polsce jak i na świecie wykorzystuje się wiele różnych materiałów do wzmocnień: geosyntetyki- np. geosiatki, geotkaniny, georuszty (więcej na ten temat w punkcie 3), a także siatki z drutów (nie są one jednak produktem pozyskanym z recyklingu).

Żadne z tych rozwiązań nie łączy ze sobą dwóch nadrzędnych dla nas funkcji:

- Ochrony środowiska naturalnego i recyklingu odpadów
- Ekonomiczności wyrobu

Nasz produkt wyróżnia się także różnorodnością zastosowań (patrz punkt 5). Jako, że produkcja Stalomechu zakłada zróżnicowanie dostosowane do zapotrzebowania klientów produkt będzie jeszcze bardziej konkurencyjny. Zależnie od potrzeby przewidziane są opcje:

- W rolkach (o zróżnicowanej szerokości by zminimalizować problem połączeń między matami).
- W arkuszach (głównie do napraw miejscowych, przy większym zapotrzebowaniu na elementy małowymiarowe).

W związku z tym możemy przypuszczać, iż Stalomech znajdzie swoich odbiorców nie tylko w Polsce, ale także poza granicami naszego kraju, gdzie przepisy środowiskowe są nierzadko jeszcze bardziej rygorystyczne.

## Spis rysunków

Rysunek 1 - Budowa opony samochodowej[3] .....	4
Rysunek 2 - Waga laboratoryjna WLC6/12/C1/R [14] .....	13
Rysunek 3 - Program budowy dróg krajowych na lata 2011-2015 [20].....	30
Rysunek 4 - Przyczyny złego stanu bezpieczeństwa drogowego [26].....	31

## Spis zdjęć

Zdjęcie 1 - Drut stalowy z recyklingu opon .....	6
Zdjęcie 2 - Specyfikacja próbki drutu stalowego z recyklingu.....	7
Zdjęcie 3 - Drut stalowy      Zdjęcie 4 - Geowłóknina [13].....	10
Zdjęcie 5 - Maszyna wytrzymałościowa .....	11
Zdjęcie 6 - Zagęszczanie próbki .....	12
Zdjęcie 7 - Próbka zalana emulsją asfaltową.....	12
Zdjęcie 8 - Próbka Marshalla pokryta emulsją asfaltową .....	14
Zdjęcie 9 - Zagęszczanie w ubijaku Marshalla.....	14
Zdjęcie 10 - Próbka po wykonaniu badania .....	15
Zdjęcie 11 - Połączenie MMA z matą wypełnioną mieszanką mineralno-emulsyjną .....	15
Zdjęcie 12 - Połączenie MMA z matą wypełnioną zaprawą cementową.....	16
Zdjęcie 13 - Zalewanie maty zaprawą cementową .....	16
Zdjęcie 14 - Stalomech wypełniony zaprawą cementową.....	17
Zdjęcie 15 - Odrzucony pomysł MMA z dodatkiem włókien stalowych .....	17

## Literatura:

- [1] [http://twojeopony.com/\\_cms/view/32/budowa-opony-wg-michelin.html](http://twojeopony.com/_cms/view/32/budowa-opony-wg-michelin.html)
- [2] <http://www.oponeo.pl/artukul/historia-opony>
- [3] <http://www.oponeo.pl/artukul/budowa-opon-funkcje-poszczegolnych-elementow>
- [4] <http://www.jkedra.za.pl/pppolska.html>
- [5] <http://www.orzelsa.com/>
- [6] J. Gronowicz, T. Kubiak, *Recykling zużytych opon samochodowych*, Politechnika Poznańska, Poznań 2007
- [7] A. Lesiuk, *Rozpoznanie istniejących technologii produkcji wyrobów z zastosowaniem stali powstającej w procesie recyklingu opon pneumatycznych*, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 2010
- [8] D. Sybilski, *Zastosowanie odpadów gumowych w budownictwie drogowym*
- [9] Katalog Geosyntetyki - ViaConPolska
- [10] J. Piłat, P. Radziszewski, *Nawierzchnie asfaltowe*, WKŁ, Warszawa 2007
- [11] K. Błazejowski, S. Styk, *Technologia warstw asfaltowych*, WKŁ, Warszawa 2011.
- [12] S. Rolla, *Badania materiałów i nawierzchni drogowych*, WKŁ, Warszawa 1985.
- [13] B. Gajewska, B. Kłosiński, P. Rychlewski, K. Grzegorzewicz, *Zastosowanie geosyntetyków w budowlach ziemnych*, IBDiM, Warszawa 2003
- [14] [http://www.radwag.pl/e-sklep/1b\\_wlc.htm](http://www.radwag.pl/e-sklep/1b_wlc.htm)



- [15] normy: PN-EN ISO 10319  
PN-EN ISO 10321  
PN-EN ISO 13431  
PN-EN ISO 25619  
PN-EN ISO 12957-1  
PN-EN ISO 10722  
PN-EN 13428
- [16] *BISTYP consulting*, I kwartał 2013
- [17] *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011*
- [18] M. Gasiński, *Zasady wprowadzania wyrobów budowlanych do obrotu i powszechnego stosowania*, 2009
- [19] [http://www.eng.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=308:ochrona-rodowiska-w-drogownictwie&catid=49:drogownictwo&Itemid=96](http://www.eng.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=308:ochrona-rodowiska-w-drogownictwie&catid=49:drogownictwo&Itemid=96)
- [20] <http://www.bioenergiadlaregionu.eu/pl/doktoranci/artykuly-doktorantow/art25,dom-2020-jako-przyklad-budownictwa-pasywnego-lub-o-niemal-zerowym-zuzyciu-energii-w-swietle-budownictwa-zrownowazonego.html>
- [21] <http://www.gddkia.gov.pl/pl/1037/sprawdz-na-mapie-przygotowanie-drog-i-autostrad>
- [22] Raport: *Polska 2030. Wyzwania rozwojowe*, Kancelaria Prezesa Rady Ministrów, Warszawa 2009
- [23] *Prognoza oddziaływania na środowisko skutków realizacji Programu Budowy Dróg Krajowych na lata 2011 – 2015 - ZAŁĄCZNIK B2 Lista zadań inwestycyjnych, których realizacja przewidywana jest po roku 2013*, GDDKiA, Warszawa 2010
- [24] *Prognoza oddziaływania na środowisko skutków realizacji Programu Budowy Dróg Krajowych na lata 2011 – 2015 - TOM A*, GDDKiA, Warszawa 2011
- [25] <http://www.eduteka.pl/doc/badanie-rynku-zbytu>
- [26] Raportu NIK : *Informacja o wynikach kontroli bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce*, Warszawa 2011
- [27] <http://www.topmenedzer.pl/2008/08/bariery-wejscia/>
- [28] [http://www.ipo.pl/zakladam\\_firme/zanim\\_zaczniesz/bariery\\_wejscia\\_na\\_rynek\\_czyli\\_co\\_podcina\\_skrzydla\\_startujacym\\_przedsiębiorstwom\\_592932.html](http://www.ipo.pl/zakladam_firme/zanim_zaczniesz/bariery_wejscia_na_rynek_czyli_co_podcina_skrzydla_startujacym_przedsiębiorstwom_592932.html)